

**PENGOLAHAN GAS KARBON MONOKSIDA DALAM  
GAS BUANG DENGAN BIOFILTER**

**TESIS**



**OLEH :**

**DJOKO SUPRAPTO  
NIM. L4K001112**

**PROGRAM PASCA SARJANA  
MAGISTER ILMU LINGKUNGAN  
UNIVERSITAS DIPONEGORO  
SEMARANG  
MEI  
2003**

**TESIS**

**PENGOLAHAN GAS KARBON MONOKSIDA DALAM  
GAS BUANG DENGAN BIOFILTER**

disusun oleh

**DJOKO SUPRAPTO**  
**NIM. L4K001112**

telah dipertahankan di depan Tim Penguji  
pada tanggal 08 Mei 2003  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diterima

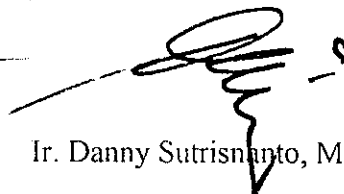
Menyetujui,  
Komisi Pembimbing

Pembimbing Utama



Dr. Ir. Purwanto, DEA

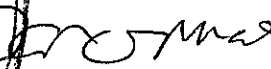
Pembimbing Kedua



Ir. Danny Sutrisnanto, M. Eng



Ketua Program Studi  
Magister Ilmu Lingkungan

  
Prof. Dr. Suharto P. Hadi, MES.

**UPT-PUSTAK-UNDIP**

No. Daft: 2409 / T / MIL / CI

Tgl. : 8 Maret 2004

Judul Tesis : Pengolahan Gas Karbon Monoksida Dalam Gas Buang  
Dengan Biofilter  
Nama Mahasiswa : Djoko Suprpto  
Nomor Mahasiswa : L4K. 001112  
Program Studi : Magister Ilmu Lingkungan  
Konsentrasi : Rekayasa Lingkungan

telah dipertahankan di depan Tim Penguji  
pada tanggal 08 Mei 2003  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diterima

Menyetujui,

Pembimbing Utama

Dr. Ir. Purwanto, DEA

Pembimbing Kedua

Ir. Danny Sutrisnanto, M. Eng

Penguji

Dr. Ir. Setia Budi Sasongko, DEA

Penguji

Ir. Sumarno, MSi



Pada Ujian Akhir Program  
Magister Ilmu Lingkungan

Prof. Dr. Sudharto P. Hadi, MES.

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis ini adalah hasil pekerjaan saya sendiri dan didalamnya tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan lembaga pendidikan lainnya. Pengetahuan yang diperoleh dari hasil penerbitan maupun yang belum / tidak diterbitkan, sumbernya dijelaskan didalam tulisan dan daftar pustaka.

Semarang, Mei 2003



DJOKO SUPRAPTO

## RIWAYAT HIDUP



DJOKO SUPRAPTO, lahir pada tanggal 11 Juni 1948 di Yogyakarta, putra pertama dari 8 bersaudara dari Slamet Mangku Prawiro dengan Suradiati. Menamatkan SD Negeri II Yogyakarta tahun 1960, SMP Negeri II Yogyakarta tahun 1963, SMA Negeri IV B Yogyakarta tahun 1966. Pada tahun 1967 masuk Fakultas Teknik Kimia Universitas Gadjah Mada Yogyakarta sampai sarjana muda 1973, mengikuti Pendidikan Keahlian Singkat Migas – Akamigas ( PAS Migas ) lulus tahun 1975 dan ditempatkan sebagai pegawai di Pusdiklat Migas Cepu Melanjutkan ke Fakultas Teknik Kimia UGM sebagai mahasiswa tugas belajar tahun 1980 lulus tahun 1981.

Pelatihan dan kursus yang diikuti adalah dalam bidang proses dan aplikasi migas, AMDAL A, B dan C, ISO 17025 dan ISO 14001. Mengikuti instructor training dalam bidang migas dan aplikasi di USA (1984), JCCP Jepang (1985) dan JICA Jepang (1987). Hingga saat ini bekerja di Pusdiklat Migas Cepu sebagai dosen PTK Akamigas dan tenaga pengajar pada kursus dan training dalam sektor industri migas.

## KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan syukur alhamdulillah atas segala Rahmat, Taufik dan Hidayah Allah SWT, maka dapat terselesaikan Tesis untuk memenuhi sebagian persyaratan mencapai derajat Sarjana S-2 Magister Ilmu Lingkungan Program Pasca Sarjana Undip Semarang dengan judul **Pengolahan Gas Karbon Monoksida Dalam Gas Buang Dengan Biofilter**.

Pelaksanaan penelitian dilaksanakan di Laboratorium Pusdiklat Migas Cepu mulai tanggal 20 November 2002 s/d 30 Maret 2003.

Dengan telah selesainya penelitian dan tesis ini maka kami mengucapkan terima kasih kepada yang terhormat :

1. Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral beserta staf,
2. Kapusdiklat Migas Cepu beserta staf,
3. Rektor Universitas Diponegoro Semarang beserta staf,
4. Ketua Program Studi Magister Ilmu Lingkungan Universitas Ddiponegoro,
5. Bp. Dr. Ir. Purwanto DEA. selaku pembimbing penelitian dan tesis,
6. Bp. Ir. Danny Sutrisyanto M.Eng., selaku pembimbing penelitian dan tesis,
7. Segenap staf dan pegawai Laboratorium Sarana Diklat Migas Cepu
8. Serta semua pihak yang telah membantu hingga selesainya penelitian dan tesis ini

Demikianlah semoga tesis ini dapat bermanfaat, dan segala tanggapan yang ditujukan untuk perbaikan dan kesempurnaan tesis ini kami terima dengan senang hati. Terima kasih.

Semarang, April 2003

Penyusun  
Djoko Suprpto

## DAFTAR ISI

	Halaman
Kata pengantar .....	vi
Daftar isi .....	vii
Daftar Tabel .....	x
Daftar Grafik .....	xi
Daftar Lampiran .....	xii
Intisari .....	xiii
Abstract .....	xiv
 I. Pendahuluan .....	 1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Perumusan masalah .....	4
1.3. Tujuan penelitian .....	4
1.4. Manfaat penelitian .....	4
1.5. Hipotesis .....	5
 II. Tinjauan Pustaka .....	 6
2.1. Teori Biofilter .....	6
2.2. Pengolahan Gas dengan biofilter .....	10
2.3. Efisiensi Biofilter untuk pemurnian emisi gas .....	13
 III. Metodologi Penelitian .....	 14
3.1 Bahan baku gas .....	14
3.2 Bahan isian biofilter .....	14
3.2.1. Kompos .....	15
3.2.2. Tanah .....	15
3.3 Alat yang digunakan dan rangkaianannya .....	16

3.4	Rencana Pelaksanaan penelitian .....	17
3.4.1.	Blank sample .....	17
3.4.2.	Sample gas buang .....	17
3.5	Variabel yang dipelajari .....	19
3.6	Pengumpulan data .....	19
3.7	Pengujian Laboratorium .....	22
3.7.1.	Ash Content .....	22
3.7.2.	Bulk Density .....	24
3.7.3.	Spesific Gravity .....	24
3.7.4.	Porosity .....	25
3.7.5.	Moisture Content .....	25
3.7.6.	Sifat keasaman dan kebasaan .....	26
3.7.7.	Pengujian Kandungan gas CO <sub>2</sub> .....	26
3.7.8.	Pengujian Kandungan SO <sub>2</sub> .....	26
3.7.9.	Pengujian Kandungan gas NO <sub>2</sub> .....	27
IV.	Hasil Dan Pembahasan .....	28
4.1	Analisis Medium .....	28
4.1.1.	Sifat Bahan Baku .....	28
4.1.2.	Sifat Bahan Isian Biofilter .....	28
4.1.3.	Blank Sample .....	31
4.2	Pengaruh Variabel Proses Pada Gas CO dengan Media Biofilter .....	34
4.2.1.	Pengaruh particle size diameter .....	34
4.2.2.	Pengaruh Moisture Content .....	35
4.2.3.	Pengaruh Kecepatan Aliran Gas .....	35
4.2.4.	Pengaruh Perbandingan Kompos dengan Tanah .....	35
4.3	Pelaksanaan penelitian dengan variabel utama.....	38
4.4	Analisa Data .....	39
4.4.1.	Pengaruh pH terhadap % pengolahan gas CO pada berbagai SV .....	39
4.5	Pengaruh Space Velocity terhadap % CO Terolah pada berbagai pH ...	42



4.6	Model Proses Pada Reaktor Unggun Diam .....	44
4.6.1.	Regresi .....	44
4.6.2.	Model Matematis .....	52
V.	Kesimpulan dan Saran.....	62
5.1	Kesimpulan .....	62
5.2	Saran .....	64
	Ringkasan .....	65
VI.	Daftar Pustaka .....	74

Lampiran

## DAFTAR TABEL

- Tabel 1 Pengaruh % Kompos Terhadap pH
- Tabel 2 Matrik Taguchi hasil pengukuran kandungan CO
- Tabel 3 Penurunan kadar CO dengan Biofilter bed pada kecepatan aliran  $0,2 \text{ M}^3 \text{ jam}^{-1}$  (8,30 m/jam)
- Tabel 4 Penurunan kadar CO dengan Biofilter bed pada kecepatan aliran  $0,4 \text{ M}^3 \text{ jam}^{-1}$  (16,60 m/jam)
- Tabel 5 Penurunan kadar CO dengan Biofilter bed pada kecepatan aliran  $0,6 \text{ M}^3 \text{ jam}^{-1}$  (24,9 m/jam)
- Tabel 6 Penurunan kadar CO dengan Biofilter bed pada kecepatan aliran  $0,8 \text{ M}^3 \text{ jam}^{-1}$  (33,2 m/jam)
- Tabel 7 Penurunan kadar CO dengan Biofilter bed pada kecepatan aliran  $1 \text{ M}^3 \text{ jam}^{-1}$  (41,5 m/jam)
- Tabel 8 Penurunan kadar CO dengan Biofilter bed pada kecepatan aliran  $1,2 \text{ M}^3 \text{ jam}^{-1}$  (49,8 m/jam)
- Tabel 9 Penurunan kadar CO dengan Biofilter bed pada kecepatan aliran  $1,4 \text{ M}^3 \text{ jam}^{-1}$  (58,1 m/jam)
- Tabel 10 Penurunan kadar CO dengan Biofilter bed pada kecepatan aliran  $1,6 \text{ M}^3 \text{ jam}^{-1}$  (66,4 m/jam)
- Tabel 11 Penurunan kadar CO dengan Biofilter bed pada kecepatan aliran  $1,8 \text{ M}^3 \text{ jam}^{-1}$  (74,7 m/jam)
- Tabel 12 Penurunan kadar CO dengan Biofilter bed pada kecepatan aliran  $2,0 \text{ M}^3 \text{ jam}^{-1}$  (83,0 m/jam)
- Tabel 13 Rekapitulasi % CO terolah pada pH biofilter bed dan berbagai kecepatan aliran feed gas

## DAFTAR GRAFIK

- Grafik 4.1. Pengaruh Prosen kompos dalam tanah terhadap pH dari data penelitian
- Grafik 4.2. Pengaruh pH terhadap % CO terolah pada SV 11,05 s/d 55,25 jam<sup>-1</sup> dari hasil penelitian
- Grafik 4.3. Pengaruh pH terhadap % CO terolah pada SV 66,30 s/d 110,50 jam<sup>-1</sup> dari data hasil penelitian
- Grafik 4.4. Pengaruh SV terhadap % CO terolah pada kecepatan pH 8,04 s/d 8,18
- Grafik 4.5. Pengaruh SV terhadap % CO terolah pada kecepatan pH 8,20 s/d 8,33
- Grafik 4.6. Model Pengaruh % Kompos terhadap pH
- Grafik 4.7. Model Pengaruh pH terhadap % CO terolah pada berbagai SV
- Grafik 4.8. Model Pengaruh SV terhadap % CO terolah pada pH 8,13 s/d 8,33
- Grafik 4.9. Model Pengaruh SV terhadap % CO terolah pada pH 8,04 s/d 8,33
- Grafik 4.10. Model Pengaruh jarak terhadap % CO terolah pada pH 8,04 s/d 8,33
- Grafik 4.11. Model Pengaruh jarak terhadap % CO keluaran pada kecepatan 0,2 m<sup>3</sup>/jam pada pH 8,04 s/d 8,25

## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1-2 Analisis data Matrik Taguchi
- Lampiran 3-4 Analisis Pengaruh % Kompos dalam tanah terhadap Ph
- Lampiran 5 Analisis Pengaruh Ph terhadap % CO Terolah pada SV 11,05/jam
- Lampiran 6-7 Analisis Pengaruh Ph terhadap % CO Terolah pada SV 5,25/jam
- Lampiran 8 Analisis Pengaruh Ph terhadap % CO Terolah pada SV 110,50/jam
- Lampiran 9 Analisis Pengaruh SV terhadap % CO Terolah pada Ph 8,13
- Lampiran 10 Analisis Pengaruh SV terhadap % CO Terolah pada Ph 8,18
- Lampiran 11-12 Analisis Pengaruh SV terhadap % CO Terolah pada Ph 8,33
- Lampiran 13 Analisis Pengaruh Jarak terhadap % CO Terolah pada Ph 8,04
- Lampiran 14 Analisis Pengaruh SV terhadap % CO Terolah pada Ph 8,20
- Lampiran 15 Analisis Pengaruh SV terhadap % CO Terolah pada Ph 8,33
- Lampiran 16 Analisis Pengaruh SV terhadap % CO Terolah pada Ph 8,04
- Lampiran 17 Analisis Pengaruh SV terhadap % CO Terolah pada Ph 8,20
- Lampiran 18 Analisis Pengaruh SV terhadap % CO Terolah pada Ph 8,33
- Lampiran 19 Analisis Pengaruh Jarak terhadap Kadar CO Keluaran pada kecepatan Aliran 0,2 m<sup>3</sup>/jam Ph 8,04
- Lampiran 20 Analisis Pengaruh Jarak terhadap Kadar CO Keluaran pada kecepatan Aliran 0,2 m<sup>3</sup>/jam Ph 8,18
- Lampiran 21-23 Analisis Pengaruh Jarak terhadap Kadar CO Keluaran pada kecepatan Aliran 0,2 m<sup>3</sup>/jam Ph 8,25
- Lampiran 24-25 Foto Pelaksanaan Penelitian
- Lampiran 26 Tabel Distribusi  $\chi^2$

## INTISARI

Proses pengolahan gas CO dalam gas buang dengan menggunakan biofilter ini bertujuan untuk menentukan kemampuan mikrobiologi untuk mengoksidasi gas CO, dalam gas buang, mempelajari pengaruh variabel proses dan membuat model pada proses tersebut. Penelitian menggunakan biofilter bed diameter 20 cm dengan biofilter bed 75 cm, suhu biofilter bed 30°C. Proses pengolahan gas CO dengan berbagai kecepatan aliran, perbandingan kompos dengan tanah, moisture content dan particle size diameter, dianalisis dengan metode taguchi, didapatkan kecepatan aliran dan perbandingan kompos merupakan 2 variabel utama, yang akan digunakan untuk penelitian lebih lanjut. Pada penelitian ini digunakan kisaran Space Velocity 11,05 s/d 552,48 jam<sup>-1</sup>, pH 8,04 s/d 8,33, kadar CO dalam gas umpan 794 s/d 987 ppm. Dengan kondisi operasi tersebut maka CO terolah berkisar antara 91,89 s/d 20,15%.

Kecepatan aliran mempunyai pengaruh yang cukup besar. Bilamana kecepatan aliran bertambah besar atau SV menjadi besar maka pada pH yang sama % CO terolah akan semakin kecil. Pada space velocity yang sama jika pH biofilter bed semakin kecil maka gas CO yang terolah semakin besar.

Pada kecepatan yang sama jika tinggi bed yang ditempuh gas atau tebal biofilter bed semakin besar maka konsentrasi gas CO keluaran semakin kecil. Variabel proses yang dominan mempunyai urutan prioritas kecepatan aliran gas, pH, particle size diameter dan moisture content. Nilai korelasi antar variabel untuk kecepatan aliran dan kompos adalah 0,654 dan 0,688. Nilai ini lebih kecil dari 0,5 berarti terjadi korelasi yang kuat antara kecepatan alir dan perbandingan tanah dengan kompos.

Model kondisi operasi untuk pengaruh % kompos terhadap pH merupakan persamaan garis lurus. Variabel proses yang berpengaruh pada proses pengolahan gas CO pada biofilter bed adalah regresi berganda dengan 4 variabel. Sedangkan model pengaruh pH terhadap % CO terolah, space velocity terhadap % CO terolah, jarak terhadap % CO terolah merupakan persamaan eksponensial. Adapun model pada kondisi steady state dengan dispersi diabaikan merupakan persamaan eksponensial, kondisi steady state dan persamaan dispersi tidak diabaikan merupakan *ordinary differential equation* orde 2.

## ABSTRACT

Carbon monoxide in flue gas treatment process using biofilter aims to decide the microbiology ability in oxidized CO in flue gas, learning the influence of variable process and making model in that process. The experiment uses biofilter bed which biofilter bed is 30°C. CO treatment process with various flow rate, the comparison between compost and soil, moisture content and particle size diameter, analyzed with Taguchi Method, will be acquired that flow rate and compost comparison are two prior variables which are uses for further experiment.

Experiment uses Space Velocity range 11,05 – 552,48 h<sup>-1</sup>, pH range 8,04 – 8,33, CO content in feed gas 794 – 987 ppm. The operating condition can treated CO gas 91,89 – 20,15%.

The flow rate has a great influence. If the Space Velocity increases so at the same pH, the treated %CO will be decreases. At the same space velocity, if the distance which is covered by gas or the thickness of biofilter bed becomes higher so the concentrate of abiturient gas becomes lower. The dominant variable process has the priorities of gas flow rate, pH, particle size diameter and moisture content. The correlation value of variable for flow rate and compost are 0.654 and 0.688. This value is less than 0.5, it means that there is a great correlation between gas flow rate and the ratio between soil and compost.

The operating condition of model, the influence of %compost versus pH is a linier equation. Process variable influenced to CO treatment process in biofilter bed is regration with four variables. Whereas, the influenced model pH versus % treated CO, space velocity versus % treated CO, the distance versus % treated CO, are exponential equation. The model in steady state condition with neglected dispersion is exponential equation and the unneglected dispersion is second order of Ordinary Differential Equation.

## I. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Sumber pencemaran udara yang berupa gas, berasal dari gas buang sarana transportasi, industri, domestik maupun kegiatan lainnya. Pencemar berupa gas tersebut adalah Karbonmonoksida ( CO ), Sulfur Oksida ( SO<sub>x</sub> ), Nitrogen Oksida ( NO<sub>x</sub> ), Hidrogen Sulfida ( H<sub>2</sub>S ) dan Volatile Organic Carbon ( VOC ). Diantara pencemar tersebut yang sangat berbahaya adalah CO yang jumlahnya hampir mencapai 50% dari jumlah pencemar seluruh udara (Jauhari A., 2001 ). Gas CO yang mempunyai berat molekul (BM) 28,01; SG = 0,968 (SG udara = 1), dapat larut dalam alkohol dan larut dalam CuCl, serta sedikit larut dalam air (Perry, 1950).

Sebagai pencemar berbahaya CO sulit dikenali karena merupakan senyawa kimia yang tidak berwarna, tidak berbau dan tidak berasa. Karena itu perlu diketahui sumber bahaya gas CO tersebut.

Gas CO ini berbahaya bagi manusia karena jika melampaui nilai ambang batasnya yaitu 9 ppm ( 10 mg/m<sup>3</sup>, selama 8 jam ) atau 35 ppm ( 30 mg/m<sup>3</sup> selama 1 jam ) dapat menyebabkan resiko kesehatan bahkan berakibat fatal bagi manusia (National Ambient Air Quality Standard, USA 1988, Miller Tyler, 1987). Di dalam tubuh manusia CO ini lebih mudah mengikat hemoglobin Hb menjadi COHb, dibanding dengan O<sub>2</sub> mengikat Hb menjadi O<sub>2</sub> Hb. Sehingga fungsi darah mengangkut O<sub>2</sub> ke seluruh bagian tubuh akan terganggu. Akibat yang dapat ditimbulkan antara lain CO, kadar 30 ppm ( 8 jam ) mengakibatkan pusing dan mual; 1000 ppm ( 1 jam ) kulit berubah menjadi kemerah-merahan; 1300 ppm ( 1 jam ) kulit merah dan pusing hebat. Jika kadar COHb dalam darah 10 – 80% dapat berakibat fatal.

Dari uraian tersebut diatas, terlihat bahwa gas karbon monooksida adalah gas beracun dan tidak mudah terdeteksi keberadaannya di sekitar kita. Karena

merupakan gas yang tidak berwarna, tidak berbau dan melayang di udara (SGnya mendekati SG udara), sehingga mudah terhirup oleh manusia.

Di Indonesia sesuai dengan Peraturan Pemerintah No. 41 tahun 1999 tertanggal 26 Mei 1999 Baku Mutu Udara Ambien Nasional adalah  $30.000 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ , 1 jam dan  $10.000 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$  selama 24 jam. Selain sebagai hasil pembakaran tidak sempurna dari proses pembakaran, CO juga terdapat sebagai impuritis dalam bahan bakar migas. Misalnya kandungan CO yang terdapat di dalam Bituminous Coal adalah 0,023, Residual Oil 0,001, Distillate Oil 0,014 dan Natural Gas adalah 0,004 lb/1.000.000 Btu bahan bakar.

Di USA emisi CO yang dihasilkan pada gas buang sekitar  $60,9 \times 10^6$  MT/tahun. Untuk Stasionary Fuel Combustion gas CO yang dihasilkan sebesar  $7,2 \times 10^6$  MT/tahun (*Salvato Joseph A, 1992*). Sebagai contoh, mesin stasioner (Stationary Engine) di Pusklat Migas Cepu digunakan antara lain di Power Plant. Mesin ini digunakan untuk pembangkit tenaga listrik guna keperluan operasi kilang, perkantoran, rumah sakit, asrama akamigas, perumahan dan kedinasan lainnya. Jenis mesin yang digunakan adalah mesin diesel, jumlah 7 buah (5 beroperasi dan 2 standby) Produk tenaga listrik yang dihasilkan lebih kurang 1.800 Kw. Kebutuhan bahan bakar yang berupa minyak solar sebesar 22,176 KL/hari. Sebagian kecil pelumas yang digunakan (Meditran S.40) ikut terbakar dan menguap ke udara luar. Sehingga perlu ada tambahan minyak pelumas (Lube Oil makeup) sebesar 25 – 50 L/hari atau 0,025 – 0,050 KL/hari.

Dengan asumsi gas CO yang timbul pada gas buang sebesar 2,9% (*Lewis Warren, 1960*) maka gas CO yang terbentuk cukup banyak. Gas hasil pembakaran yang mengandung CO ini langsung dibuang ke udara luar melalui cerobong asap. Elevasi cerobong asap ini terletak pada ketinggian 4 meter dari permukaan tanah. Gas buang yang keluar dari cerobong asap ini terlihat berwarna hitam. Hal ini menandakan terjadinya pembakaran yang tidak sempurna. Sehingga asap yang keluar mengandung partikulat karbon, gas CO



dan gas lainnya. Gas buang yang mengandung CO ini menimbulkan pencemaran udara dan belum dikelola dengan baik. Sehingga dapat mengganggu kesehatan di lingkungan kilang dan sekitarnya. Beberapa macam cara pernah dilakukan untuk mengurangi kadar  $\text{CO}_x$ ,  $\text{SO}_x$  dan  $\text{NO}_x$  yang berasal dari gas buang karena gas-gas tersebut sangat beracun. Upaya yang telah dilakukan untuk mengurangi pencemaran CO ini adalah dengan cara fisika, kimia dan biokimia (biofilter). Sebagai contoh antara lain menggunakan cara absorpsi, adsorpsi (fisika), catalytic converter (kimia) dan biofilter (biokimia). Proses absorpsi ini digunakan untuk menyerap gas-gas yang mudah larut dalam air dan menggunakan bahan kimia. Proses adsorpsi ini dilakukan untuk menyerap gas-gas organik (hidrokarbon). Untuk penyerapan gas-gas tertentu dapat digunakan penyerap (chemical absorbent) misalnya larutan KOH untuk menyerap  $\text{CO}_2$ , larutan alkali pyrogallol untuk menyerap  $\text{O}_2$ . Larutan  $\text{Cu}_2\text{Cl}_2$ , Cuprous amine complexes dan Cuprous ammonium Chlorida untuk menyerap gas CO (Perry, 1950). Catalytic converter ini menggunakan katalisator platina, rhodium untuk mengkonversi gas CO dan hidrokarbon menjadi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$  (Pessilind, 1990). Biofilter ini digunakan untuk penyerapan senyawa hidrokarbon, termasuk methanol dan hydrogen sulfida. Biofilter untuk menyerap gas-gas hidrokarbon dengan menggunakan campuran Granular Active Carbon (GAC), kompos, nutrient mempunyai kemampuan penyerapan antara 82 – 93%. Sedangkan untuk penyerapan gas  $\text{H}_2\text{S}$  mampu menyerap 100% (Sumarno, 2002). Adsorbent biofilter yang telah jenuh dengan gas pencemar yang diserap tidak mengalami kesulitan untuk dibuang, karena tidak menggunakan bahan kimia. Dengan memperhatikan pustaka tersebut diatas, maka cukup menarik diupayakan penelitian untuk menurunkan kadar CO dari emisi gas buang dengan cara melewatkan gas buang motor diesel tersebut melalui biofilter.

### **1.2. Perumusan Masalah**

- a. Belum diketahuinya kemampuan mikroba untuk mendegradasi gas CO, yang digunakan pada biofilter, yang terdiri atas campuran kompos dengan tanah.
- b. Belum adanya data secara kuantitatif variabel utama yang berpengaruh pada proses tersebut diatas.
- c. Keterkaitan antar variabel proses pada biofilter untuk mengolah gas CO yang berasal dari gas buang belum diketahui dengan pasti.
- d. Perbandingan antara data penelitian dengan data prediksi (model) untuk proses termaksud belum diketahui dengan jelas.

### **1.3. Tujuan Penelitian**

- a. Menentukan kemampuan mikroba dalam biofilter bed untuk mengoksidasi gas CO yang terikut pada gas buang.
- b. Menentukan variabel yang berpengaruh dan menentukan variabel utama pada proses pengolahan gas CO dengan unit biofilter.
- c. Mengetahui keterkaitan antar variabel proses biofilter yang terdiri atas campuran kompos dengan tanah pada proses mengolah gas CO.
- d. Membuat model proses pengolahan gas pada reaktor unggun diam.

### **1.4. Manfaat Penelitian**

- a. Mengurangi pencemaran udara di lokasi kilang, industri Migas dan lokasi sekitarnya.
- b. Dapat menentukan kondisi operasi pengoperasian proses adsorpsi dengan biofilter, serta dapat menyusun program perawatan unit biofilter tersebut.
- c. Menunjang realisasi pelaksanaan Sistim Manajemen Lingkungan (SML) Pusklat Migas.
- d. Dapat melakukan pengembangan kondisi operasi pengolahan gas CO dengan biofilter.

### 1.5. Hipotesis

- a. Variabel proses yang berpengaruh pada proses pengolahan gas CO dalam gas buang dengan biofilter adalah kecepatan aliran gas, pH, particle size diameter dan moisture content.
- b. Proses pengolahan gas CO dengan biofilter bed terjadi secara aerobik dan terbentuk gas CO<sub>2</sub>.
- c. Regresi
  - Pengaruh % kompos terhadap perubahan pH pada biofilter bed adalah berupa garis lurus.
  - Pengaruh pH terhadap % CO terolah, Space Velocity terhadap % CO terolah dan tinggi unggun biofilter terhadap % CO terolah merupakan persamaan eksponensial,  $Y = A e^{ax}$ , dengan A dan a adalah konstanta
  - Pengaruh tinggi kadar CO keluaran terhadap biofilter bed merupakan persamaan eksponensial,  $C = B e^{bx}$ , dengan B dan b adalah konstanta
- d. Modeling

Penurunan kadar CO dalam gas buang dengan biofilter bed merupakan fungsi dari tinggi unggun biofilter (X) kecepatan aliran gas (V), koefisien dispersi pada fase gas (D), konstanta laju biodegradasi orde 1 ( $b_1$ ) dan perbandingan massa cemaran pada fase padat dengan massa cemaran pada fase gas ( $k_m$ ). Pada kondisi steady state mempunyai persamaan sebagai berikut :

$$\frac{dC}{dx} - \frac{V}{D} \frac{dC}{dx} - \frac{b_1 k_m}{D} C = 0$$

Persamaan ini mempunyai penyelesaian umum  $C = A \cdot e^{r_1 x} + B \cdot e^{r_2 x}$  dengan A dan B adalah konstanta.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Teori Biofilter

Biofilter adalah suatu teknologi yang relatif baru digunakan untuk pemurnian gas yang telah terkontaminasi dengan senyawa yang dapat dirusak secara biologis (*biologically degradable compound*). Biofilter ini berupa kolom vertikal dengan ketinggian antara 100 s/d 130 cm dan didalamnya diisi bahan isian misalnya kompos, tanah diatome, karbon aktif atau bahan berpori lainnya yang dapat menyerap gas termaksud dan dapat berfungsi sebagai penyangga untuk pertumbuhan biologis. Gas buang dimurnikan dengan cara melewatkannya melalui bahan isian tersebut. Kontaminan yang melalui lapisan biofilm basah akan terdegradasi **secara aerobik** menjadi karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ) atau menjadi biomassa (*Hodge Douglas S. and Devinny Joseph S., 1982*).

Proses secara biologis ini digunakan secara luas untuk *waste water treatment* dan *contaminated soil treatment*. Di USA proses secara biologis untuk pemurnian udara belum begitu banyak digunakan. Di Eropa penelitian dan pengembangan teknologi penggunaan proses biologis untuk menghilangkan bau busuk, *waste water treatment plant* telah banyak digunakan. Baru-baru ini *biofiltration treatment* telah dikembangkan dengan baik termasuk untuk pemurnian *Volatile Organic Compounds (VOCs)* dan emisi udara yang mengandung gas beracun dari berbagai macam kontaminasi (*Hodge Douglas S. and Devinny Joseph S., 1982*).

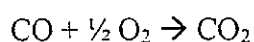
Keuntungan yang dapat diperoleh jika menggunakan cara biofiltrasi ini adalah dapat menyerap kontaminan yang rendah ( yang terdapat di udara ) secara konsisten dan dapat dirusak secara biologis untuk menghasilkan  $\text{CO}_2$ .

Pemurnian dengan cara kimia seperti insenerator, klorinasi, ionisasi dan pembakaran memerlukan biaya mahal, peralatan yang rumit dan mungkin

memerlukan bahan bakar atau bahan kimia. Adsorpsi dengan karbon aktif juga memerlukan biaya yang cukup tinggi dan karbon jenuhnya merupakan bahan buangan yang berbahaya, memerlukan regenerasi serta transportasi untuk landfill. Walaupun biofilter dipandang cukup menguntungkan namun masih diperlukan penelitian dan pengembangan lebih lanjut untuk implementasinya (Allan and Yang, 1991 ; Dharmavarran, 1991 ).

Saat ini data yang tersedia untuk kecepatan penyerapan polutan pada berbagai macam media biofilter, kondisi operasi seperti moisture content, pH, temperatur dan konsentrasi nutrisi yang diperlukan belum teruji dengan baik juga perbandingan antara satu teknologi dengan teknologi yang lain dalam hal pengoperasian biofilter sangat terbatas.

Bakteri dan *actinomycete* merupakan organisme hidup yang paling banyak dan beragam. Sebagian besar bakteri tanah adalah heterotrof yang membutuhkan karbon organik sebagai sumber karbon dan energi. Sebagian lagi merupakan bakteri autotrof yang menggunakan substrat anorganik spesifik sebagai sumber energi sedang sebagai sumber karbon adalah karbonat dan senyawa karbon atom tunggal. (CO dan CO<sub>2</sub> ). Mekanisme pemanfaatan gas CO yang berada pada pori tanah oleh mikroflora sangat ditentukan oleh jumlah dan jenis mikroba. Jumlah dan jenis mikroflora menurut penelitian adalah sebanding dengan jumlah bahan organik tanah dan pH tanah. Mikroflora yang dapat menggunakan gas CO dalam metabolismenya adalah mikroflora aerobik dan anaerobik. Mikroflora pengoksidasi gas CO aerobik tersebar luas di berbagai jenis tanah, terutama tanah yang kandungan bahan organiknya tinggi. Spesies seperti *Carboxydomonas*, *Hydrogenomonas*, *Bacillus* dan bakteri pengoksidasi tanah dapat mengoksidasi gas CO menjadi CO<sub>2</sub> (Hubley, dkk, 1974 ).

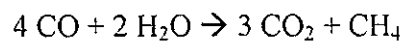


Karbonmonoksida dioksidasi dan berlaku sebagai donor elektron selama pertumbuhan berbagai bakteri *Clostridia*. Beberapa bakteri aerobik yang lain

dalam bentuk populasi campuran dapat mengubah gas CO menjadi metana dengan adanya hydrogen.



Beberapa bakteri anaerobik *Methanocarcina* dan *Methanobacterium* dengan adanya hydrogen dapat mengubah gas CO menjadi  $\text{CH}_4$  dan tanpa menggunakan oksigen dapat mengoksidasi CO menjadi  $\text{CO}_2$  ( *Khuyver dan Schuellen, 1974* ).



Laju metabolisme CO di tanah sangat dipengaruhi oleh jenis mikroflora anaerobik atau aerobik.

Adsorpsi adalah suatu fenomena dasar pada kimia fisika. Adsorpsi terjadi bilamana suatu media padat dikelilingi oleh gas maka molekul-molekul padatan tersebut pada permukaannya cenderung menarik kuat molekul-molekul gas. Beberapa lapis molekul gas terikat kuat pada permukaan padatan. Proses adsorpsi bersifat reversibel dimana molekul-molekul gas yang telah terikat dapat dilepaskan kembali ( desorpsi ). Proses adsorpsi merupakan proses eksotermis sedangkan desorpsi endotermis. Gas yang mempunyai titik didih rendah lebih mudah terjebak dibanding yang mempunyai titik didih tinggi ( *Sumarno, 2002* ). Titik didih gas CO minus  $313,6^\circ\text{F}$ ,  $\text{O}_2$  minus  $297,4^\circ\text{F}$ , Nitrogen minus  $320^\circ\text{F}$ ,  $\text{CO}_2$  minus  $1093,3^\circ\text{F}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  minus  $76,5^\circ\text{F}$ , udara minus  $317,7^\circ\text{F}$  dan metana minus  $258,48^\circ\text{F}$  ( *Katz, 1959* ). Terlihat dari data diatas bahwa gas CO relatif lebih mudah terjebak dibandingkan gas lainnya.

Media padat yang mampu menjebak gas disebut adsorben, gas yang terjebak disebut adsorbat, sedangkan gas dimana adsorbat terjebak disebut solvent. Adsorben yang efektif mempunyai karakteristik luas permukaan persatuan massa sangat besar dan berpori-pori kapiler. Jenis-jenis adsorben yang banyak digunakan adalah karbon aktif, silika gel, fuller earth bauksit dan lain-lain.

Fenomena pada biofilter terjadi proses biodegradasi. Dalam fase padat / cair akan terakumulasi secara biologis dan terdegradasi, yaitu cemaran digunakan

substrat dan akan dihasilkan gas CO<sub>2</sub>. Lapisan film mikroorganisme pada packing lebih kurang 0,25 mm tebalnya. Penetrasi O<sub>2</sub> dari udara pada lapisan film adalah 0,1 s/d 0,2 mm. Pada lapisan atas terjadi proses biodegradasi aerobik, sedangkan pada lapisan dibawah titik tersebut adalah proses biodegradasi berjalan secara anaerobik (*Levin, 1993*).

Penggunaan biofilter untuk penjerapan komponen gas buang tidak selalu sama kemampuannya (*Douglass, 1992*).

Karakter tersebut dapat dilihat pada tabel 2.1. berikut :

Tabel 2.1. : Kemampuan Biofilter pada pengolahan gas

Umpan	Gas Masuk		Gas Keluar	
	Kons. Mg/L	% dari total	Kons. µg/L	% dari total
Methanol/Acetaldehyde	97	3.5	138	13.8
Ethanol	3261	84.4	455	45.4
Freon #1	19	0.7	47	4.7
Freon #2	147	5.2	193	19.2
Ethyl Acetate	43	1.5	87	8.7
Unknown #1	10	0.4	16	1.6
Unknown #2	87	3.1	31	3.1
Unknown #3	36	1.3	36	3.6
<b>Total</b>	<b>2799</b>	<b>100</b>	<b>1002</b>	<b>100</b>
Karbon Dioksida	803		3750	

Dari tabel 2.1. tersebut terlihat bahwa tidak semua komponen gas dapat diserap dengan baik oleh biofilter. Ethanol dapat terserap dengan baik dengan adsorpsi biofilter ini ( Conc. Influent 3261 µg/L dan Effluent 455 µg/L ). Produk karbon dioksida mengalami kenaikan sebagai hasil dari proses degradasi biologis ( Conc. Influent 803 µg/L dan Effluent 3750 µg/L ). Terlihat bahwa ethanol terdegradasi secara biologis menjadi karbon dioksida.

## 2.2. Pengolahan Gas Dengan Biofilter

*The Reynold Group ( TRG )* biofilter adalah suatu model proses biofilter yang diajukan oleh *Ottengraf dan Van Den Oever ( 1983 )*, *Devinny et.al (1991)* dan *Hodge ( 1993 )*. Model ini menggambarkan transport dasar dan proses biologis pada biofilter. Pada prinsipnya jika gas dialirkan melalui filter, maka konsentrasi cemarannya dipengaruhi oleh adveksi, dispersi, adsorpsi, absorpsi dan proses biologis. Model ini mengambil asumsi, bahwa media berpori sebagai sistim 2 fase yaitu fase gas serta fase cair dan padat. Dengan menganggap fase padat dan cair sebagai fase tunggal, maka fenomena seperti difusi pada lapisan air – biofilm dan proses adsorpsi pada interfase cairan – padatan dapat disederhanakan.

Model ini menggambarkan timbulnya gas  $\text{CO}_2$  oleh mikroorganisme dan prediksi profil konsentrasi pada biofilter. Dalam model ini dipisahkan antara efek adsorpsi cemaran dan proses biodegradasi / proses biologis.

Selama awal operasi biofilter, kapasitas adsorptive dari biofilter merupakan proses dominan penghilang cemaran. Setelah bahan isian biofilter penuh dengan cemaran, proses dominan penghilang cemaran adalah proses biologis. Kinerja biofilter dipengaruhi oleh bahan biofilter yang meliputi kapasitas adsorptive, porositas dan kapasitas buffer. Untuk penyederhanaan diambil asumsi sebagai berikut :

- a. Aliran gas melalui bahan isian biofilter adalah laminar (  $Re = 0,2 - 0,5$  ), dengan kecepatan melalui partikel bahan isian biofilter 120 – 150 m/jam (*Leson and Warner 1991* ).
- b. Komposisi bahan isian biofilter adalah homogen ( misalnya porositas, kadar air, tebal biofilm dan lain-lain ).
- c. Kepadatan dan distribusi biomassa mikroba adalah homogen.
- d. Adsorpsi bersifat reversible.
- e. Adveksi dan difusi adsorpgen pada air diabaikan.
- f. Laju penggunaan substrat oleh mikroorganisme mempunyai orde 1.



- g. Karbondioksida yang dihasilkan melalui reaksi stoichiometri antara Ethanol dengan gas Oksigen sbb :



Bahan isian biofilter yang digunakan dalam kolom vertikal dapat berupa *Granular Activated Carbon (GAC)*, campuran tanah *Diatomae Earth (DE)* dengan kompos, dan kompos saja. *Granular Activated Carbon (GAC)*, dengan diameter 1 mm dilapisi tanah (dari area kilang minyak) sekitar 1 % berat, ditambah nutrien dengan cara menambahkan 20 mg (  $\text{NH}_4$  )  $\text{NO}_3$  dan 6 mg  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  untuk setiap 100 mg bahan isian.

Tanah diatomae ( DE ) adalah tanah yang diperoleh dari *Manville Co, Denver* dengan diameter 1 mm dilapisi tanah (dari area kilang minyak) sekitar 1 % berat, ditambah nutrien dengan cara menambahkan 20 mg (  $\text{NH}_4$  )  $\text{NO}_3$  dan 6 mg  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  untuk setiap 100 mg bahan isian.

Kompos ( Compost ) adalah hasil pembusukan atau sampah rerumputan atau tumbuh-tumbuhan yang telah dibusukkan selama lebih kurang 3 bulan sebelum digunakan. Parameter bahan isian yang digunakan adalah particle size diameter ( cm ), density ( g/l ), moisture content ( % ), ash content ( % ), pH, porosity, partition coefficient kh, retardation factor Ra, alkalinity ( eq/L ) dan total carbonate ( mol/L ).

Peralatan yang digunakan untuk penelitian tersebut diatas terbuat dari pipa plastik *polyvinyl chlorida (PVC)* dengan diameter 7,6 cm dan tinggi 90 cm. Kedua ujungnya ditutup dengan PVC juga. Dinding pipa PVC ini pada tempat-tempat tertentu dilubangi untuk pengambilan sampelnya atau sampling port ( gambar alat terlampir ).

Pengoperasian alat dilakukan dengan cara, mengalirkan udara ( dua aliran ) dari pompa dilewatkan melalui filter. Satu aliran dilewatkan melalui genangan air untuk membasahi udara dan aliran lainnya dilewatkan melalui cairan etanol (  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  ). Selanjutnya kedua aliran ini digabung menjadi satu dan

dihubungkan dengan manometer untuk mengetahui tekanan influennya. Aliran gas basah yang telah mengandung etanol ini selanjutnya dilewatkan melalui kolom vertical yang telah diisi dengan bahan isian biofilter. Selanjutnya pada influent, sampling port serta effluent diukur kadar etanolnya. Dengan kecepatan aliran influent yang relatif tetap sebesar  $23,7 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$  atau  $23,7 \text{ m}/\text{jam}$  dengan konsentrasi etanol dalam udara sebesar  $11.000 \text{ } \mu\text{g}/\text{L}$ , maka kondisi steady state untuk GAC, campuran kompos / DE dan kompos biofilter berkisar antara 8 – 20 hari. Tercapainya kondisi steady state ini diduga terjadi *channeling air flow*.

Dari data lapangan didapat bahwa *Removel Efficiencies* untuk udara yang mengandung etanol setelah dilewatkan melalui bahan isian biofilter berkisar antara 72 – 100%. Variasi ini tergantung pada variabel yang digunakan (*The Renold Group*). Biofilter, selain digunakan untuk adsorpsi methanol dalam udara juga dapat digunakan untuk adsorpsi uap acetaldehyde, formaldehyde, acetone, methylethylketone, methylisobuthylketone, benzena, toluene, o/m/p xylene dan gas hydrogen sulfida  $\text{H}_2\text{S}$  (*Sumarno, 2002*).

Dalam model tersebut dipisahkan antara efek adsorpsi cemaran dan proses biodegradasi.

Pada proses degradasi ini, diambil asumsi bahwa jumlah bakteri yang berkembang biak sama dengan jumlah bakteri yang mati. Sehingga jumlah bakteri selama proses biofilter berlangsung jumlahnya sama.

### 2.3. Efisiensi Biofiter untuk Pemurnian Emisi Gas

Kemampuan biofilter untuk memurnikan emisi gas buang yang mengandung VOCs dan hydrogen sulfida ( Sumarno, 2002 ), dapat dilihat pada tabel 2.2.

*Pilot Scale Emission Test Hasil* di bawah ini :

Tabel 2.2. : Efisiensi pengolahan gas pada biofilter

<b><i>Percent Removal Efficiencies for Biofiltration Of Treatment Plant Air Discharges</i></b>		
Compound	Bench scale GAC	Bench scale GAC Low pH
Acetaldehyde	82%	73%
Formaldehyde	80%	74%
Aceton	80%	82%
Methylethylketone	85%	93%
Methylisobuthylketone	77%	65%
Benzene	92%	63%
Toluene	98%	94%
O – Xylene	91%	95%
P/m Xylene	93%	95%
TGNMO	82%	67%
Hydrogen sulfide	100%	100%

Dari data tersebut terlihat bahwa hydrogen sulfida (  $H_2S$  ) dapat terserap 100% oleh biofiltrasi. Hal ini dapat dapat dijelaskan dengan mengkaitkan dengan siklus sulfur. Dalam tanah juga terdapat bakteri lain yang mampu merubah sulfur menjadi sulfat. Bilamana dalam tanah terdapat kalsium maka akan terendapkan sebagai kalsium sulfat ( Dwi Handayani, 2002 ).

### III. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan proses pengolahan gas karbon monoksida dalam gas buang motor diesel dengan proses biofiltrasi. Sampel gas buang menggunakan gas buang dari Power Plant Pusdiklat Migas.

#### 3.1. Bahan Baku Gas

Bahan baku yang digunakan sebagai gas umpan adalah gas buang motor diesel power plant Pusdiklat Migas. Nomor seri mesin yang digunakan sebagai acuan adalah mesin diesel dengan nomor seri mesin : GV 30/45AT/413725.

Spesifikasi mesin : inline type, four stroke engine, 30 cm diameter cylinder, seri A, super charger dengan daya 1120 HP, 400 Kw.

Bahan bakar yang digunakan adalah minyak solar ( HSD ), dengan kebutuhan bahan bakar 165 g/HP jam, lube oil makeup 5 L/hari. Gas buang yang dihasilkan oleh mesin diesel tersebut diduga mengandung CO yang relatif besar. Gas buang ini dihisap melalui filter dan diumpankan ke dalam kompresor udara dengan kapasitas tertentu. Selanjutnya gas yang berada dalam kompresor dengan volume, tekanan dan suhu tertentu digunakan untuk sample dalam penelitian termaksud.

Gas buang Power Plant yang digunakan sebagai bahan baku gas untuk penelitian, dianalisa terlebih dahulu komposisinya yang meliputi kadar  $SO_x$ ,  $NO_x$ ,  $CO_x$ ,  $O_2$ , partikulat (karbon) dan kandungan uap airnya.

#### 3.2. Bahan Isian Biofilter

Bahan isian yang digunakan untuk biofilter dibuat dari campuran kompos dan tanah yang telah dikeringkan dengan diameter partikel dan perbandingan tertentu. Sifat-sifat bahan isian dianalisa terlebih dahulu di dalam laboratorium.

### 3.2.1. Kompos

Kompos ini dianalisa dahulu sifat-sifatnya sebagai berikut :

- Particle size diameter, mm.
- Bulk density, g/cc.
- Specific gravity atau SG
- % moisture
- % ash content.
- pH.
- Porosity

Kompos ini diperoleh dari PD. Sumber Wijaya dengan Merk dagang terdaftar nomor 359781.

### 3.2.2. Tanah

Tanah yang digunakan dianalisa dahulu sifat-sifatnya sebagai berikut :

- Particle size diameter, mm.
- Bulk density, g/cc.
- Specific gravity atau SG
- % moisture
- % ash content.
- pH.
- Porosity

Tanah ini diambil lebih kurang 100 meter dari CDU (kilang).

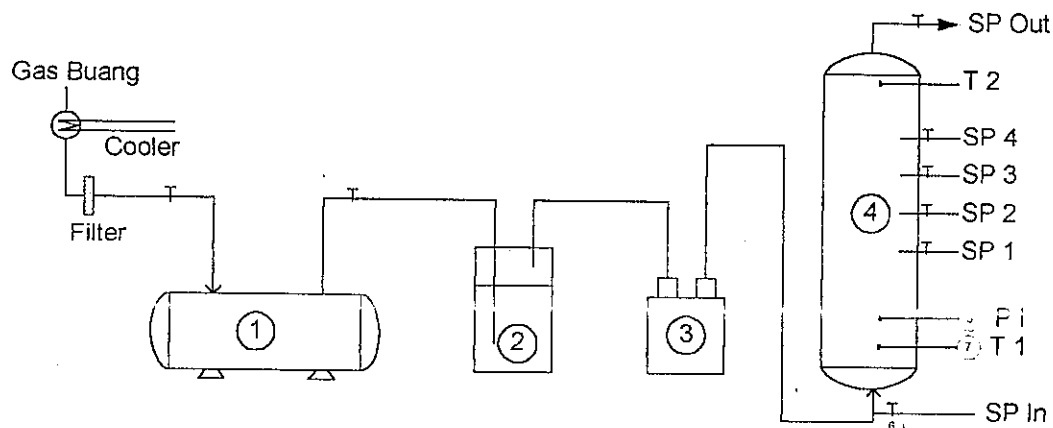
Pengukuran sifat kompos dan tanah dilakukan sesuai dengan standard yang digunakan untuk *Soil and Plant Analysis for Tree Culture* (Wilde, 1972).

Pada dasarnya sifat fisika biofilter yang dipilih (Campbell John M., 1984) adalah sebagai berikut :

- a. Luas permukaan besar per satuan berat.
- b. Aktif menyerap komponen yang dikehendaki.
- c. Kecepatan transfer massa tinggi.

- d. Mudah dan murah regenerasinya.
- e. Tetap aktif dalam waktu yang lama.
- f. Tahanan terhadap gas kecil.
- g. Kuat, tidak mudah pecah dan tidak membentuk debu.
- h. Murah, tidak korosif, tidak beracun, inert dan mempunyai bulk density tinggi.
- i. Tidak mudah berubah bentuk dan selalu kuat meskipun dalam keadaan lembab atau basah.

### 3.3. Alat Yang Digunakan dan Rangkaianya



Gambar 3.1. : Rangkaian Alat Biofilter

Keterangan Gambar :

1. Kompresor berisi sample gas yang telah tercemar ( mengandung CO ).
2. Tabung berisi aquadest, untuk melembabkan sample gas. Kelembaban gas tetap.
3. Gas flowmeter untuk mengukur aliran volumetric gas (  $\text{m}^3/\text{jam}$  ).
4. Kolom berisi bahan isian biofilter, inside diameter 20 cm, tinggi 100 cm, terbuat dari bahan PVC.
5. Pressure Indicator (PI) untuk mengukur tekanan operasi (Psi).

6. Sampling point influent dan effluent gas ( SP in, SP 1, SP 2, SP 3, SP 4, dan SP 5 / SP out ).

Effluent gas masuk ke almari asam karena gas CO adalah gas beracun.

7. Thermometer ( T 1 dan T 2 ) untuk mengukur suhu rata-rata biofilter.

**Catatan :** Space velocity dengan satuan  $\text{jam}^{-1}$  dapat dikonversi dari satuan aliran volumetric gas (  $\text{m}^3/\text{jam}$  ) sebagai berikut :

$$\text{Space Velocity} = \frac{\text{Jumlah aliran gas (m}^3/\text{jam)}}{\text{Volume Bed (m}^3\text{)}} \quad (\text{Little Donald M. 1985})$$

### 3.4. Rencana Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian dilakukan menjadi 2 tahap yaitu blank sample, dan dengan sample yang sesungguhnya yaitu gas buang.

#### 3.4.1. Blank Sample

Sample gas CO dan CO<sub>2</sub> dilakukan dengan proses fisika yaitu dilewatkan dalam kolom tanah steril. Hal ini dimaksudkan untuk membuat material balance gas CO dan CO<sub>2</sub> setelah melewati kolom tanah steril tersebut.

Sample yang sama dilewatkan melalui kolom yang terdiri atas kompos saja dengan tujuan dilakukan proses biokimia. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui material balance gas CO dan CO<sub>2</sub> setelah melewati kolom kompos.

#### 3.4.2. Sample Gas Buang

Gas buang dari knalpot mesin diesel, setelah didinginkan terlebih dahulu kemudian dilewatkan melalui filter, untuk menyaring partikulat. Selanjutnya diisap ke dalam kompresor. Gas buang yang di dalam kompresor ini selanjutnya digunakan untuk penelitian. Gas yang telah diketahui komposisinya ini dialirkan dengan kecepatan tertentu dilewatkan pelan-pelan melalui kolom air untuk melembabkan gas tersebut, selanjutnya gas ini dilewatkan pelan-pelan melalui flow meter untuk mengetahui kecepatan alirannya. Kemudian gas ini diumpankan ke dalam unit biofilter yang berisi bahan isian campuran tanah dan

kompos dengan perbandingan tertentu. Unit alat ini dioperasikan dengan parameter yang telah ditetapkan terlebih dahulu. Pada influent SP in, SP 1, SP 2, SP 3, SP 4 dan Sp out diukur kadar gas CO nya. Alat ukur kadar CO yang digunakan adalah *Portable Toxic Gas Detector* Merk ELE dengan kisaran deteksi 0 – 1000 ppm, LCD display, dilengkapi dengan rotameter gelmon calibrated dengan batas ukur aliran 0 – 2000 mL / menit.

Dengan mengetahui kadar CO pada influent, intermediate dan efluentnya maka dapat diketahui kemampuan daya serap biofilter tersebut. Selanjutnya dengan pengamatan dalam jangka waktu tertentu akan dapat diketahui kondisi steady statenya. Kondisi ini ditandai dengan kadar CO pada SP in, SP 1, SP 2, SP 3, SP 4 dan Sp out tidak berbeda secara signifikan. Jika kondisi steady state telah dicapai, berarti bahan isian biofilter ini telah mencapai kejenuhan. Hal ini juga berarti merupakan umur maksimum dari bahan isian biofilter termaksud.

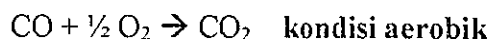
Data yang diperoleh dimasukkan dalam tabel Taguchi dan tabel efek. Selanjutnya data dianalisa / dibahas untuk menentukan variabel utamanya. Dengan dasar variabel utama ini dianalisa lebih lanjut dengan cara relative dan model matematik. Analisa ini digunakan untuk mengetahui kesesuaian antara data dan model yang dibuat.

Asumsi yang diambil untuk menentukan model adalah sebagai berikut :

- a. Aliran gas melalui bahan isian biofilter adalah laminar (  $Re = 0,2 - 0,5$  ), dengan kecepatan melalui partikel bahan isian biofilter 120 – 150 m/jam (*Leson and Warner, 1991* ).
- b. Komposisi bahan isian biofilter adalah homogen ( misalnya porositas, kadar air, tebal biofilm dan lain-lain ).
- c. Kepadatan dan distribusi biomassa mikroba adalah homogen.
- d. Adsorpsi bersifat reversible.
- e. Adveksi dan difusi adsorpgen pada air diabaikan.
- f. Laju penggunaan substrat oleh mikroorganisme mempunyai orde 1.



- g. Karbondioksida yang dihasilkan melalui reaksi stoichiometri dengan reaksi sebagai berikut :



Dengan bereaksinya CO menjadi CO<sub>2</sub> maka kadar CO yang terdapat di dalam effluent akan berkurang. Sebanding dengan terbentuknya gas CO<sub>2</sub>. Dari reaksi tersebut diatas terlihat bahwa 1 mol CO yang bereaksi akan menghasilkan 1 mol CO<sub>2</sub>. Selanjutnya dasar reaksi ini digunakan untuk menyusun persamaan matematis.

Dalam penelitian ini diambil asumsi bahwa jumlah bakteri didalam biofilter bed dianggap tetap.

### 3.5. Variabel Yang Dipelajari

Ada 4 variabel yang dipelajari yaitu :

- Average Particle Size Diameter*, mm.
- Moisture (basah – kering)
- Kecepatan aliran gas masuk biofilter, m/jam ( influent ).
- Perbandingan campuran tanah di dekat kilang minyak dan kompos.

#### Catatan :

Untuk membuat table Taguchi, tinggi kolom bahan isian biofilter (bed) dibuat tetap. Tetapi untuk membuat model tinggi bed dibuat bervariasi.

pH pada awal proses diukur dan dicatat.

### 3.6. Pengumpulan Data

Dalam pelaksanaan penelitian ini, untuk memperoleh data awal dilakukan 8 pengamatan atau percobaan, yang diarahkan analisisnya menggunakan metode **Matrik Taguchi**. Kondisi operasi percobaan menggunakan batasan variabel sebagai berikut :

Particle size diameter = 1,88 mm dan 1,194 mm.

Particle size diameter 1,88 mm ( -8 +12 mesh, *Badger Walter, 1955* )

Particle size diameter 1,194 mm ( -12 + 16 mesh, *Badger Walter, 1955* )

Moisture content : basah mempunyai moisture content 92,80% dan kering 40,50%. Pada kondisi basah aliran gas dilewatkan pada kolom air terlebih dahulu sebelum masuk ke unit biofilter sedangkan kondisi kering tidak dilewatkan melalui kolom air.

Derajat keasaman (pH) digunakan 8,13 dan 8,19.

Tinggi kolom bahan isian biofilter = 75 cm

Kecepatan aliran gas = 0,5 dan 0,75 m<sup>3</sup>/jam.

Suhu kolom biofilter 31°C. (suhu lingkungan setempat)

Perbandingan kompos dan tanah 1 : 1 dan 2 : 1.

Kadar influent CO tetap, diambil dari compressor (pada setiap running dapat berbeda, hal ini tergantung pada saat sampling ). Emisi gas buang Diesel Power Plant mempunyai kandungan CO antara 780 – 990 ppm.

Kadar influent dan effluent CO (ppm) diukur menggunakan *Portable Toxic Gas Detector* Merk ELE.

Delapan pengamatan yang dilakukan pada proses biofilter digunakan kondisi operasi sebagai berikut :

#### **Pengamatan 1 :**

Average Particle Size Diameter = 1,194 mm ; moisture = 0 (kering) ;  
pH = dicatat ; tinggi kolom = 75 cm ; kecepatan aliran gas = 20 m/jam ;  
suhu kolom = dicatat ; perbandingan kompos dengan tanah = 1 : 1

Dengan mengukur kadar CO pada influent dan effluent gasnya maka dapat diketahui jumlah CO yang terserap pada unit biofilter, yaitu  $\Delta CO$  sebagai **hasil**.

#### **Pengamatan 2 :**

Average Particle Size Diameter = 1,194 mm ; moisture = 0 (kering) ;  
pH = dicatat ; tinggi kolom = 75 cm ; kecepatan aliran gas = 20 m/jam ;  
suhu kolom = dicatat ; perbandingan kompos dengan tanah = 2 : 1

Dengan mengukur kadar CO pada influent dan effluent gasnya maka dapat diketahui jumlah CO yang terserap pada unit biofilter, yaitu  $\Delta CO$  sebagai **hasil**.

**Pengamatan 3 :**

Average Particle Size Diameter = 1,194 mm ; moisture = 1 (basah) ;  
pH = dicatat ; tinggi kolom = 75 cm ; kecepatan aliran gas = 30 m/jam ;  
suhu kolom = dicatat ; perbandingan kompos dengan tanah = 1 : 1

Dengan mengukur kadar CO pada influent dan effluent gasnya maka dapat diketahui jumlah CO yang terserap pada unit biofilter, yaitu  $\Delta\text{CO}$  sebagai **hasil**.

**Pengamatan 4 :**

Average Particle Size Diameter = 1,194 mm ; moisture = 1 (basah) ;  
pH = dicatat ; tinggi kolom = 75 mm ; kecepatan aliran gas = 30 m/jam ;  
suhu kolom = dicatat ; perbandingan kompos dengan tanah = 2 : 1

Dengan mengukur kadar CO pada influent dan effluent gasnya maka dapat diketahui jumlah CO yang terserap pada unit biofilter, yaitu  $\Delta\text{CO}$  sebagai **hasil**.

**Pengamatan 5 :**

Average Particle Size Diameter = 1,88 mm ; moisture = 0 (kering) ;  
pH = dicatat ; tinggi kolom = 75 cm ; kecepatan aliran gas = 30 m/jam ;  
suhu kolom = dicatat ; perbandingan kompos dengan tanah liat = 1 : 1

Dengan mengukur kadar CO pada influent dan effluent gasnya maka dapat diketahui jumlah CO yang terserap pada unit biofilter, yaitu  $\Delta\text{CO}$  sebagai **hasil**.

**Pengamatan 6 :**

Average Particle Size Diameter = 1,88 mm ; moisture = 0 (kering) ;  
pH = dicatat ; tinggi kolom = 75 cm ; kecepatan aliran gas = 30 m/jam ;  
suhu kolom = dicatat ; perbandingan kompos dengan tanah = 2 : 1

Dengan mengukur kadar CO pada influent dan effluent gasnya maka dapat diketahui jumlah CO yang terserap pada unit biofilter, yaitu  $\Delta\text{CO}$  sebagai **hasil**.

**Pengamatan 7 :**

Average Particle Size Diameter = 1,88 cm ; moisture = 1 (basah) ; pH = dicatat ; tinggi kolom = 75 cm ; kecepatan aliran gas = 20 m/jam ; suhu kolom = dicatat ; perbandingan kompos dengan tanah = 1 : 1

Dengan mengukur kadar CO pada influent dan effluent gasnya maka dapat diketahui jumlah CO yang terserap pada unit biofilter, yaitu  $\Delta$ CO sebagai **hasil**.

**Pengamatan 8 :**

Average Particle Size Diameter = 1,88 cm ; moisture = 1 (basah) ; pH = dicatat ; tinggi kolom = 75 cm ; kecepatan aliran gas = 20 m/jam ; suhu kolom = dicatat ; perbandingan kompos dengan tanah = 2 : 1

Dengan mengukur kadar CO pada influent dan effluent gasnya maka dapat diketahui jumlah CO yang terserap pada unit biofilter, yaitu  $\Delta$ CO sebagai **hasil**.

Hasil pengamatan ini dimasukkan ke dalam tabel 1 yang telah dipersiapkan.

**3.7 Pengujian Laboratorium**

Pengujian laboratorium dilakukan untuk *Ash Content* ( kadar abu ) *Bulk Density*, *Specific Gravity* (SG), *Porosity*, *Moisture Content* dan Sifat keasaman/kebasaan ( pH ).

**3.7.1 Ash Content**

Ash Content adalah sisa pembakaran dan pemanasan pada suhu tinggi (600°C) yang dinyatakan dalam prosen berat.

Kandungan senyawa organik dalam sample atau media menentukan sifat kesuburan tanah. Pada tanah yang subur memiliki daya dukung yang baik terhadap kehidupan mikroorganisme karena adanya ketersediaan nutrient bagi organisme, energi maupun mineral koloid ( *Wilde, 1972* ). Bahan organik ini akan terbakar habis dan sisanya adalah abu.

Bilamana kadar abunya banyak, maka kandungan bahan organik didalam sample adalah sedikit ( *Wilde, 1972* ). Hal ini berarti bahwa sample tersebut

tidak mempunyai daya dukung yang baik terhadap kehidupan mikroorganisme. Begitu pula sebaliknya.

Prinsip pengujian sebagai berikut :

- Timbang  $\pm 10$  gram sample dan tempatkan pada 50 ml cawan porselin.
- Panasi pada oven pada suhu  $110^{\circ}\text{C}$  selama 2 jam, kemudian dinginkan dalam desikator dan timbang beratnya.
- Bakar dengan api kecil hingga merah, lanjutkan hingga 30 menit dan diaduk dengan kawat platina.
- Dinginkan pada desikator dan jika perlu dapat ditambah beberapa tetes 30%  $\text{H}_2\text{O}_2$ .
- Sample panaskan lagi pada muffle furnace pada suhu  $600^{\circ}\text{C}$  selama 2 jam.
- Dinginkan dalam desikator dan timbang beratnya.
- Hitung prosen kadar abunya.

### 3.7.2 Bulk Density

Bulk Density adalah berat sample kering per unit volume. Senyawa organik mempunyai berat yang relatif ringan. Sehingga semakin kecil bulk densitynya berarti sample tersebut banyak mengandung senyawa organik. Hal ini berarti pada sample tersebut baik untuk kehidupan mikroorganisme ( tanah gembur ).

Prinsip pengujian sebagai berikut :

- 100 cc sample dipanasi pada oven pada suhu  $110^{\circ}\text{C}$ . Dinginkan dalam desikator kemudian ditimbang sampai beratnya tetap.
- Berat sample kering ini kemudian dibagi dengan volumenya akan didapatkan bulk densitynya.

### 3.7.3 Spesific Gravity ( SG )

Spesific Gravity ini berkaitan dengan porosity. Spesific Gravity diuji dengan menggunakan picnometer yang telah dikalibrasi pada suhu  $15^{\circ}\text{C}$ , volumenya 100 ml.

Prinsip pengujian :

- Picnometer diisi dengan air distilat pada suhu  $15^{\circ}\text{C}$ , ditutup dan ditimbang , beratnya.
- Timbang 20 gram sample, tempatkan pada cawan porselin dan panaskan pada oven pada suhu  $105^{\circ}\text{C}$ .
- Tambahkan  $\pm 50$  ml air distilat dan didihkan selama 3 menit.
- Dinginkan pada water bath hingga suhunya mencapai  $15^{\circ}\text{C}$ , maka akan terjadi suspensi sample – air.
- Masukkan suspensi ini kedalam picnometer sampai batas, tutup dan timbang beratnya.

Perhitungan Specific Gravity ( SG ) sebagai berikut :

Berat picnometer + air distilat	= a gr
Berat sample	= b gr
Jumlah	= ( a + b ) gr
Berat picnometer + suspensi	= c gr
Berat volume yang ditempati air distilat	= ( a + b ) - c gr
Maka SG sample	= $\frac{b}{(a+b)-c}$

### 3.7.4 Porosity ( P )

Porosity ini berkaitan dengan sifat kemudahan gas mengalir melewati media berpori ( *flow of fluid through porous media* ). Semakin besar porositinya maka semakin mudah gas/fluida mengalir melalui sample/media tersebut.

Rumus perhitungan porosity :  $P = \frac{S-D}{S} \times 100\%$ ,

dimana :

S = SG sample

D = Bulk Density sample

### 3.7.5 Moisture Content

Moisture content ini adalah sifat suatu sample atau media yang berkaitan dengan tingkat kemudahan infiltrasi suatu cairan/air kedalam media tersebut. jika moisture contentnya tinggi berarti media tersebut mudah menyerap cairan/air ( *Wilde, 1972* ).

Prinsip pengujian :

- Timbang sejumlah sample pada cawan aluminium dan timbang beratnya, misalnya a gr.
- Panaskan pada oven pada suhu 105°C. Dinginkan pada desikator dan timbang hingga beratnya konstan, misalnya b gr.
- Maka moisture content dapat dihitung sebagai berikut :

UPT-PUSTAK-UNDIP

$$\text{Moisture content} = \frac{a-b}{c} \times 100\% \text{ (dry basis).}$$

### 3.7.6 Sifat Keasaman dan Kebasaan ( pH )

Sifat ini berkaitan dengan ketersediaan nutrient bagi mikroorganisme, dan keaktifan *parasitic soil organism* yang berpotensi menyebabkan sifat racun pada sample/media yang digunakan. Pertambahan nutrisi dalam media/tanah dipengaruhi oleh adanya ion  $H^+$  ( asam ) dan ion  $OH^-$  ( basa ), pH 7,5 – 9.

Prinsip pengujian :

- 40 gr sample ditambah 100 ml air distilat, aduk selama 10 menit dalam gelas beaker.
- Campuran ini ditempatkan dalam test tube 100 ml kemudian diukur pHnya.

### 3.7.7 Pengujian Kandungan Gas $CO_2$

Aliran gas yang mengandung  $CO_2$  dialirkan dengan kecepatan tertentu dan selanjutnya diserap menggunakan larutan KOH 2N. Larutan ini setelah menyerap gas  $CO_2$  dititrasi dengan larutan HCl 0,1 N dengan menggunakan indikator PP dan MO. Kemudian penggunaan HCl 0,1 N dicatat saat terjadi perubahan warna. Misalnya  $V_2$  mL, kandungan  $CO_2$  dihitung dengan rumus :

### 3.7.8 Pengujian Kandungan $SO_2$

Untuk menentukan kandungan  $SO_2$  dalam campuran gas dapat dilakukan secara kolori metri dalam besaran konsentrasi 0,003 s/d 5 ppm. Pada prinsipnya gas  $CO_2$  diserap dengan lapisan Natrium atau Kalium Tetra Chloromercurate dan terbentuk kompleks Dichlorosulfitomercurate. Kompleks ini kemudian direaksikan dengan Pararosaniline dan form aldehyd sehingga terbentuk warna merah ungu. Larutan ini kemudian diukur absorbennya dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 540 nm.



Kemudian konversi  $\text{CO}_2$  dihitung dengan menggunakan rumus (metode *West Gaeke*).

### 3.7.9 Pengujian Kandungan $\text{NO}_2$

Untuk menentukan kandungan  $\text{NO}_2$  dalam campuran gas dalam rentang konsentrasi 0,0002 sampai 5 ppm. Gas  $\text{NO}_2$  diserap dengan menggunakan larutan campuran N-(1-Naphthyl) – Ethylenediamine dihydrochloride, asam sulfanilat dan asam asetat membentuk zat warna azo yang berwarna merah ungu. Larutan ini kemudian diukur absorbennya dengan menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang 550 nm. Kemudian konsentrasi  $\text{NO}_2$  dihitung dengan rumus (metode *Griess – Saltzman*).

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian dilakukan dengan menganalisa sifat-sifat bahan baku, bahan biofilter yakni campuran kompos dan tanah, pengujian dengan blank sample dengan media isian bed tanah steril dan kompos. Kemudian dari hasil matrik Taghuci dipilih dua variable utama yang digunakan untuk penelitian lebih lanjut. Hasil penelitian dibuat grafik, persamaan regresi dan modeling.

##### 4.1 Analisis Medium

###### 4.1.1. Sifat bahan baku

Gas buang yang digunakan adalah gas buang yang berasal dari motor diesel Power Plant yang mempunyai sifat-sifat berdasarkan hasil uji laboratorium Pusdiklat Migas Cepu, sebagai berikut :

- Kandungan CO = 780 s/d 996 ppm.
- Kandungan SO<sub>2</sub> = 1792,52 s/d 2340,14 ppm.
- Kandungan NO<sub>2</sub> = 3.25 s/d 5.78 ppm.
- Kandungan CO<sub>2</sub> = 2841 s/d 4172 ppm.

###### 4.1.2. Sifat Bahan Biofilter

###### 4.1.2.1. Kompos

Kompos yang digunakan didapat dari PD Sumber Wijaya dengan Merk dagang terdaftar No. 459781. Kompos ini mengandung unsur makro N, P, K dan unsur mikro Fe, Zn, Mg. Setelah dilakukan proses pengayakan menggunakan ayakan standard ASTM dan dilakukan sifat kompos didapat data sebagai berikut :

###### a. Particle size diameter

- Particle size diameter =  $- 8 + 12 = 1,88 \text{ mm}$
- Particle size diameter =  $- 12 + 16 = 1,194 \text{ mm}$

## b. Bulk Density :

- Untuk  $d = 1,88$  mm, Bulk Densitynya =  $0,4031$  g / cc
- Untuk  $d = 1,194$  mm, Bulk Densitynya =  $0,4331$  g / cc

## c. Specific Gravity (SG)

- Untuk  $d = 1,88$  mm, SG =  $1,3463$
- Untuk  $d = 1,194$  mm, SG =  $1,3912$

## d. Porosity (P)

- Untuk  $d = 1,88$  mm, P =  $70,0587$  %
- Untuk  $d = 1,194$  mm, P =  $68,8687$  %

## e. Moisture Content

Moisture Content rerata =  $89,72$  % wt

## f. Kadar abu

- Untuk  $d = 1,88$  mm, kadar abu =  $32,98$  % wt
- Untuk  $d = 1,194$  mm, kadar abu =  $34,55$  % wt

## g. pH kompos

pH kompos =  $8,01$

## 4.1.2.2. Tanah

Tanah yang digunakan didapat dari area kilang minyak Pusdiklat Migas Cepu. Tanah diambil dari jarak  $\pm 100$  meter dari unit distilasi. Setelah dilakukan proses pengayakan menggunakan ayakan standard ASTM dan dilakukan sifat kompos didapat data sebagai berikut :

## a. Particle size diameter

- Particle size diameter =  $- 8 + 12 = 1,88$  mm
- Particle size diameter =  $- 12 + 16 = 1,194$  mm

## b. Bulk Density :

- Untuk  $d = 1,88$  mm, Bulk Densitynya =  $1,2142$  g / cc
- Untuk  $d = 1,194$  mm, Bulk Densitynya =  $1,2341$  g / cc

## c. Specific Gravity (SG)

- Untuk  $d = 1,88 \text{ mm}$ ,  $SG = 2,2092$
- Untuk  $d = 1,194 \text{ mm}$ ,  $SG = 2,2313$

## d. Porosity (P)

- Untuk  $d = 1,88 \text{ mm}$ ,  $P = 45,08 \%$
- Untuk  $d = 1,194 \text{ mm}$ ,  $P = 44,69 \%$

e. Moisture Content, moisture Content rerata =  $78,83 \%$  wt

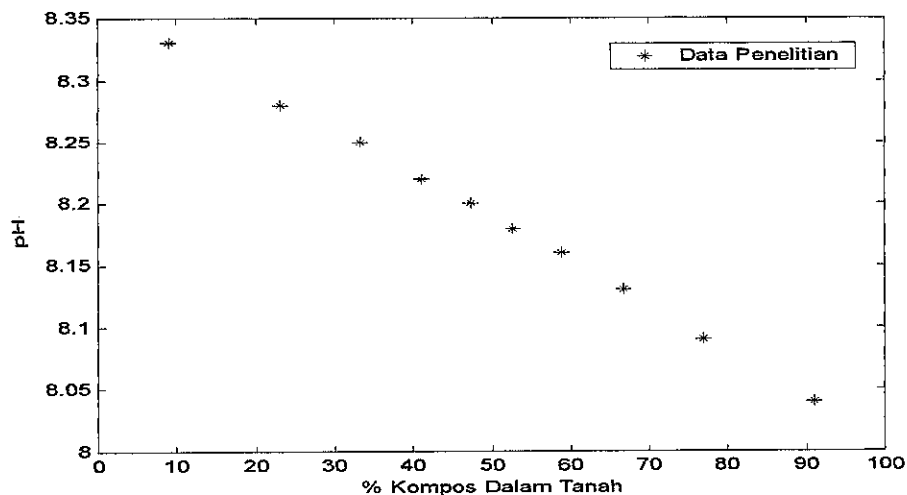
## f. Kadar abu

- Untuk  $d = 1,88 \text{ mm}$ , kadar abu =  $92,94 \%$  wt
- Untuk  $d = 1,194 \text{ mm}$ , kadar abu =  $92,82 \%$  wt

## g. pH tanah

pH tanah =  $8,36$

Kompos dan tanah dicampurkan untuk memperoleh biofilter bed. Hasil pencampuran ini memberikan nilai pH yang bervariasi tergantung dari perbandingan campuran kompos dengan tanah. Pengaruh perbandingan pencampuran terhadap pH tanah, tercantum pada lampiran Tabel 4. Dapat digambarkan sebagai berikut :



Grafik 4.1. : Pengaruh % kompos dalam tanah terhadap pH dari data penelitian

#### 4.1.3. Blank sample

Percobaan ini digunakan untuk menghitung neraca bahan CO dan CO<sub>2</sub> setelah melalui bed dari tanah liat serta kompos saja.

##### 4.1.3.1. Bed dari Tanah Steril

Tanah yang telah diayak dibersihkan dan dipanaskan hingga suhu 121° C didalam *autoclave* dengan tekanan 15 psig selama 60 menit. Kemudian tanah ini ditempatkan pada biofilter bed yang berdiameter 17 cm dengan ketinggian bed 75 cm.

Selanjutnya bed ini dialiri dengan gas buang yang berasal dari motor diesel dengan konsentrasi CO yang terukur pada kecepatan tertentu yaitu 20 m/jam selama 30 menit. Kemudian diukur kandungan CO pada outlet gasnya. Kandungan CO pada inlet dan outlet diukur dengan gas detector merk ELE. Kemudian bed dibongkar dan diisi dengan tanah yang sama dengan yang tersebut diatas kemudian diliri gas CO<sub>2</sub> yang berasal dari tabung pemadam api (gas ini didapat dari bagian Lingkungan, Kesehatan dan Keselamatan Kerja yang disingkat LK3 Pusdiklat Migas Cepu). Inlet gas dan outletnya diukur dengan menggunakan cara titrasi

Hasi pengukuran sebagai berikut :

Neraca Bahan Gas CO :

- Input gas CO = 874 ppm
- Output gas CO = 839 ppm
- Delta ( $\Delta$ ) gas CO setelah melewati bed tanah steril = 35 ppm.
- Terlihat bahwa tanah steril dapat menyerap CO sebesar 35 ppm atau 4%.
- Kandungan O<sub>2</sub> dalam gas buang tidak diperiksa.

Tanah steril tersebut dapat menyerap gas CO dengan dasar proses adsorpsi (proses fisika).

#### Neraca Bahan Gas CO<sub>2</sub> :

- Input gas CO<sub>2</sub> = 1920 mg / L atau 97,96% wt
- Output gas CO<sub>2</sub> = 1872 mg / L atau 95,51% wt
- Delta (Δ) gas CO<sub>2</sub> setelah melewati bed tanah steril = 48 mg / L.
- Terlihat bahwa tanah steril dapat menyerap CO<sub>2</sub> sebesar 48 mg / L atau 2,45 %.

#### 4.1.3.2. Bed dari Kompos

Pada prinsipnya penelitian dilakukan seperti pada tanah steril. Hanya tanah sterilnya diganti dengan kompos. Dari hasil pengukuran didapat hasil sebagai berikut :

#### Neraca Bahan Gas CO :

- Input gas CO = 895 ppm
- Output gas CO = 80 ppm (turun)
- Delta (Δ) gas CO setelah melewati bed kompos = 815 ppm.
- Terlihat bahwa kompos dapat menyerap CO sebesar 815 ppm atau 91,06%.

Kompos dapat menyerap CO lebih banyak dibandingkan dengan tanah steril (4%). Hal ini menunjukkan bahwa dalam kompos terdapat proses lain selain proses fisika, yakni proses biodegradasi (mikroba) yang mengolah gas CO menjadi gas lain.

Feed gas CO yang digunakan untuk blank sample ini menggunakan gas buang dari motor diesel Power Plant. Sehingga selain mengandung CO juga mengandung gas-gas lain termasuk gas CO<sub>2</sub>. Kandungan gas CO<sub>2</sub> didalam gas ini sebesar 48,271% wt. Setelah keluar dari bed kompos diukur juga kandungan CO<sub>2</sub> pada outlet gasnya. Dari hasil pengukuran didapat kandungan gas CO<sub>2</sub> sebesar 48,355% wt. Terlihat bahwa setelah melewati bed kompos terdapat kenaikan kandungan CO<sub>2</sub> sebesar 0,0185%

wt. Dari sini dapat diketahui bahwa ada proses didalam kompos bed tadi yang menghasilkan gas CO<sub>2</sub>. Sesuai dengan teori yang ada didalam kompos ini terdapat jenis-jenis mikroba tertentu yang dapat mengubah gas CO menjadi gas CO<sub>2</sub>. Dikaitkan dengan neraca bahan, terjadinya pengurangan gas CO akan meningkatkan kandungan gas CO<sub>2</sub> pada outlet gasnya.

**Reaksi gas CO menjadi gas CO<sub>2</sub> pada kondisi aerobik :**

Dasar perhitungan 100 mg gas buang.

CO masuk = 895 ppm = 0,895 mg

CO keluar = 80 ppm = 0,08 mg

Delta (Δ) gas CO = 0,815 mg = 0,0291 mol CO

CO<sub>2</sub> masuk = 48,271 %wt = 482,71 mg

CO<sub>2</sub> keluar = 48,355 %wt = 483,55 mg

Delta (Δ) gas CO<sub>2</sub> = 0,84 mg = 0,0191 mol CO<sub>2</sub>

Reaksi gas CO menjadi CO<sub>2</sub> sebagai berikut :

$\text{CO} + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$  (Hubley, 1974).

1 mol CO menghasilkan 1 mol CO<sub>2</sub> dari perhitungan diatas terlihat bahwa ada kekurangan produk CO<sub>2</sub> sebesar 0,01 mol CO<sub>2</sub>. Penurunan CO tidak sebanding dengan kenaikan CO<sub>2</sub>. Kemungkinan hal ini disebabkan gas CO tersebut diikat oleh Biofilter bed, karena biofilter bed mempunyai pH diatas 7 sehingga bersifat basa.

Neraca Bahan Gas CO<sub>2</sub> :

- Input gas CO<sub>2</sub> = 1920 mg / L atau 97,96% wt
- Output gas CO<sub>2</sub> = 1923 mg /L
- Delta (Δ) gas CO<sub>2</sub> setelah melewati bed kompos = - 3 mg / L.
- Terlihat bahwa kompos dapat bertambah sebesar 3 mg / L atau 0,156 %.

## 4.2 Pengaruh Variabel proses pada gas CO dengan media biofilter

Variabel proses yang diteliti / dipelajari pada proses pengolahan gas CO dengan medium biofilter adalah particle size diameter, moisture content, kecepatan aliran gas melalui biofilter bed dan perbandingan kompos dengan tanah. Dalam percobaan digunakan tinggi biofilter bed 75 cm, suhu bed 30°C.

Hasil penelitian dengan metode taguchi ditunjukkan pada tabel Matrik Taguchi

### 4.2.1. Pengaruh Particle size diameter

Pada particle size diameter yang kecil maka luas permukaan adsorpsi lebih luas pada volume tertentu. Sehingga proses adsorpsi dapat berjalan lebih baik. Sedangkan porosity pada particle size diameter yang kecil juga lebih kecil prosentasenya. Hal ini menyebabkan aliran gas yang melewati partikel-partikel tersebut akan lebih terhambat dan berakibat pressure dropnya besar.

Lapisan film mikroorganisme pada media  $\pm 0,25$  mm tebalnya. Penetrasi O<sub>2</sub> dari udara pada lapisan film adalah 0,1 s/d 0,2 mm. Pada lapisan atas akan terjadi proses biodegradasi aerobik. Sedangkan pada lapisan bawah titik tersebut adalah proses biodegradasi berjalan secara anaerobik (*Levin, 1993*). Sehingga pada particle size diameter yang lebih kecil proses biodegradasi secara anaerobik lebih sedikit. Pada kondisi anaerobik gas CO pada tanah dapat digunakan sebagai sumber hara karbon oleh bakteri anaerob kemitrofik lewat konversi terbentuk asam asetat, asam butirat dan asam lemak rantai panjang (*Zeikus, 1980*). Pada kondisi aerobik bakteri seperti *Carboxymonas*, *Hydrogenomonas*, *Bacillus* dan bakteri pengoksidasi metana dapat mengoksidasi CO menjadi CO<sub>2</sub> (*Hubbley. Dkk, 1974*).

Sedangkan pada particle size diameter yang lebih besar memberikan porosity yang besar pula sehingga pressure dropnya lebih kecil. Tetapi luas permukaannya pada volume yang sama menjadi lebih kecil. Berdasarkan hal tersebut maka antara particle size diameter yang kecil dan besar akan memberikan efek tidak sama. Semakin kecil particle size diameter, maka



kandungan CO yang terolah dari biofilter bed semakin besar. Demikian juga sebaliknya.

#### **4.2.2. Pengaruh Moisture Content**

Moisture content adalah kelembaban dari biofilter bed yang akan memberikan pengaruh terhadap kondisi kehidupan mikroba yang terdapat dalam biofilter bed. Pada kelembaban tertentu maka mikroba akan bisa berkembang dengan baik sehingga mampu melaksanakan proses pengolahan gas CO dengan lebih baik. Sedangkan pada kondisi kering atau moisture contentnya sangat rendah maka mikroba tersebut tidak dapat melaksanakan fungsinya dengan optimal. Pada kondisi lembab maka suplai nutrient yang diperlukan mikroba dapat lebih memadai sehingga fungsi mikroba dalam melaksanakan proses pengolahan gas CO akan lebih baik. Moisture content ini sangat dipengaruhi oleh komposisi tanah terdiri atas kompos, lokasi topografi dan kondisi iklim dimana bahan tadi diambil. Dalam percobaan proses pelembaban digunakan dengan cara melewatkan gas pada kolom air dengan kecepatan tertentu. Sedangkan pada kondisi kering gas tidak dilewatkan pada kolom air.

#### **4.2.3. Pengaruh Kecepatan aliran gas**

Kecepatan aliran gas melalui biofilter bed akan berpengaruh pada lamanya kontak antara gas CO dengan biofilter bed. Semakin lambat alirannya maka kesempatan kontak atau residence time akan menjadi lebih besar. Sehingga proses adsorpsi dan proses biodegradasi yang oleh biofilter bed akan lebih efektif. Adapun jika kecepatan gas lebih cepat maka berlaku sebaliknya. Proses oksidasi CO secara mikrobas berfungsi untuk meregenerasi adsorbent, karena dibandingkan dengan oksidasinya yaitu CO<sub>2</sub>. Gas CO terjerap lebih cepat dibandingkan dengan gas CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> maupun N<sub>2</sub> (Sumarno, 2001).

#### **4.2.4. Pengaruh Perbandingan campuran kompos dengan tanah**

Kompos mempunyai pH yang lebih kecil dibandingkan dengan tanah. Pada pH yang rendah aktifitas mikroba akan lebih aktif jika dibandingkan dengan pada kondisi pH yang relatif lebih besar. Aktifitas mikroba ini akan menentukan kemampuan biofilter bed untuk mengolah CO<sub>2</sub> yang terdapat dalam gas buang. Fraksi koloidal yang berperan dalam adsorpsi CO oleh kompos adalah humus selain lempung. Sedangkan pada tanah adalah lempung selain humus. Hal ini akan mempengaruhi waktu tinggal yang dibutuhkan oleh gas untuk mencapai kondisi kesetimbangan pada kompos akan lebih singkat dibandingkan dengan tanah. Dengan demikian perbandingan antara kompos dengan tanah ini akan berpengaruh juga pada kemampuan pengolahan gas CO didalam biofilter bed pada kecepatan aliran gas tertentu.

**Tabel 4.1. : Matrik Taguchi**

Berdasarkan hasil (dari kolom 12) maka dapat dianalisa datanya. Dari analisa ini dapat dipilih variabel utamanya. Dalam penelitian ini digunakan variabel utama.

Dari tabel efek yang diperoleh dari analisis matrik taguchi diperoleh partick size diameter mempunyai nilai +0,75 , moisture content +5,75 , kecepatan aliran gas +14,75 dan perbandingan kompos dengan tanah mempunyai nilai +13,25 dari nilai tersebut diatas dapat disimpulkan bahwa kecepatan aliran dan perbandingan kompos dengan tanah merupakan variabel yang berpengaruh besar terhadap proses pengolahan gas CO dengan biofilter. Dengan dasar ini maka kedua variabel tersebut digunakan sebagai variabel utama yang dipelajari untuk penelitian lebih lanjut.

TABEL 4.1, MATRIK TAGHUCHI HASIL PENGUKURAN KANDUNGAN CO

Run Number	Particle size Diameter (mm)	Moisture	Kec. Aliran Gas ( m3/jam )	Perb. Kompos dan Tanah	Kandungan Gas CO ( ppm )						Result (6 - 11 )
					Feed	SP 1	SP 2	SP 3	SP 4	SP 5	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	+ = 1,88 - = 1,194	+ (92,80) - (40,50)	+ = 0,75 - = 0,5	+ = 2 : 1 - = 1 : 1	Dicatat	Dicatat	Dicatat	Dicatat	Dicatat	Dicatat	Dihitung
1	-	-	-	-	876	701	548	425	322	328	648
2	-	-	-	+	987	804	627	482	399	332	655
3	-	+	+	-	876	706	557	433	320	211	665
4	-	+	+	+	987	801	622	478	3770	203	684
5	+	-	+	-	876	702	551	430	315	223	653
6	+	-	+	+	987	806	624	480	365	317	670
7	+	+	-	-	876	698	546	526	399	226	650
8	+	+	-	+	987	802	630	497	400	327	660

## Analisis Matrik Taguchi

1. Particle size diameter =  $(+ 648 - 655 - 665 - 684 + 653 + 670 + 650 + 660) / 4 = + 3 / 4 = + 0,75$
2. Moisture =  $(- 648 - 655 + 665 + 684 - 653 - 670 + 650 + 660) / 4 = + 23 / 4 = + 5,75$
3. Kecepatan aliran =  $(- 648 - 655 + 665 + 684 + 653 + 670 + 650 - 660) / 4 = + 59 / 4 = + 14,75$
4. Perbandingan kompos dan tanah =  $(- 648 + 655 - 665 + 684 - 653 + 670 + 650 + 660) / 4 = + 53 / 4 = + 13,25$

Dari tabel yang tersebut diatas dapat disimpulkan bahwa kecepatan aliran dan perbandingan kompos dengan tanah mempunyai pengaruh cukup besar terhadap proses pengolahan gas CO dengan Biofilter sehingga kedua variabel termasuk akan digunakan sebagai variabel utama untuk penelitian lebih lanjut

#### 4.3 Pelaksanaan Penelitian Dengan Variabel Utama

Setelah ditentukan, 2 variabel utama yaitu kecepatan aliran gas dan perbandingan kompos dan tanah, kemudian dilakukan pengamatan lebih lanjut proses penyerapan CO dengan biofilter dengan menggunakan dua variabel tersebut. Pengukuran dilakukan pada ketinggian kolom biofilter yang bervariasi SP1 s/d SP5. Selanjutnya diperiksa kandungan CO pada influent dan effluent gasnya. Delta  $\Delta$  CO dapat dihitung, dengan cara mengurangi kadar CO dalam influent dikurangi dengan kadar CO dalam effluent gasnya.

Dalam penelitian dengan dua variabel utama ditentukan sebagai berikut :

- Diameter kompos dan tanah dipilih yang kecil yakni 1,88 mm. Hal ini dengan pertimbangan bahwa diameter partikel yang kecil akan mempunyai luas permukaan yang lebih besar pada volume yang sama. Sehingga dapat diharapkan bahwa kontak antara gas CO dengan biofilter bed lebih baik. Hanya dengan konsekuensi bahwa relative drop akan lebih besar karena porositasnya lebih kecil (68,87%), juga kadar abunya sedikit lebih besar.
- Dipilih kondisi basah hal ini dengan pertimbangan untuk menjaga kelembaban biofilter bed, dengan tujuan agar pertumbuhan bakteri bisa lebih terjamin.
- Perbandingan kompos dan tanah menggunakan perbandingan % volume dengan pertimbangan bahwa mengukur volume kompos maupun tanah lebih mudah dibandingkan dengan menimbang beratnya.
- Tinggi bed biofilter yang digunakan adalah 75 cm (tetap).
- Suhu bed menggunakan suhu lingkungan (30°C)
- Pengukuran inlet dan outlet gas dilakukan 3 kali dan hasilnya dirata-rata menggunakan alat dan metode yang telah ditetapkan.

Secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\Delta \text{ CO} = f(\text{kecepatan aliran, perbandingan kompos dan tanah})$$

Tabel hasil pengolahan gas CO dengan variabel kecepatan aliran dan perbandingan kompos dan tanah dapat dilihat pada lampiran.

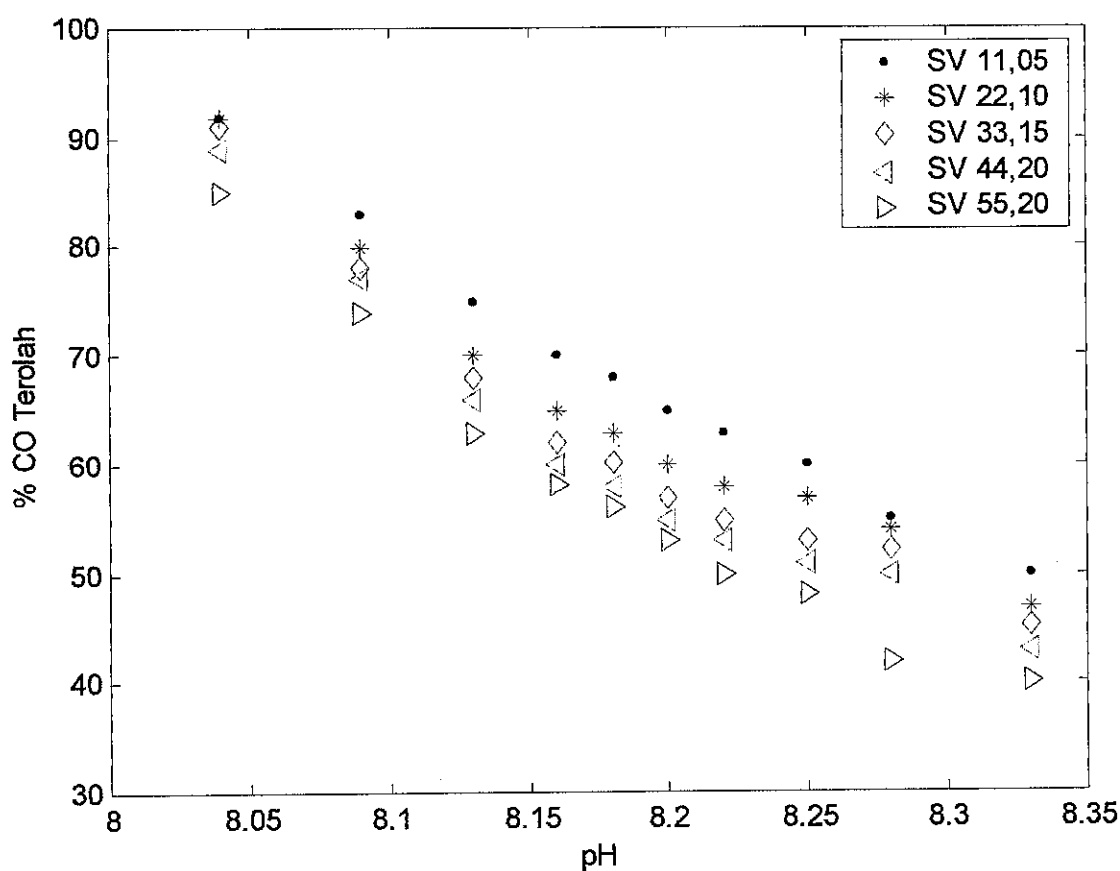
Untuk permodelan sampling kadar CO dilakukan di jarak tertentu (  $SP_1$ ,  $SP_2$ ,  $SP_3$ ,  $SP_4$  dan  $SP_5$  ), dengan variabel utama tersebut diatas

#### 4.4 Analisa Data

Penurunan kadar CO setelah melewati biofilter bed, dari nhasil penelitian dapat digambarkan sebagai berikut :

##### 4.4.1. Pengaruh pH terhadap % pengolahan gas CO pada Berbagai Space Velocity

###### a. Pengaruh pH terhadap % pengolahan gas CO pada SV 11,05 s/d 55,25



Grafik 4.2. : Pengaruh pH terhadap % CO terolah pada SV 11,05 s/d 55,25  $\text{jam}^{-1}$   
dari data hasil penelitian

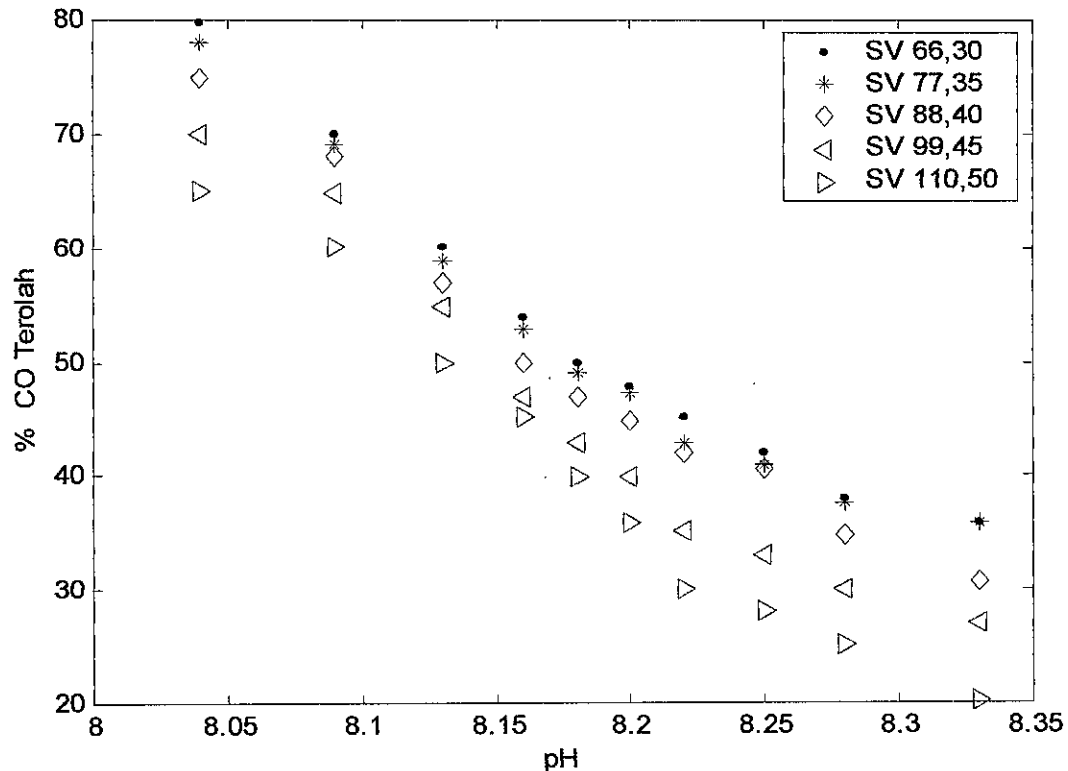
Dari grafik 4.2. (data dari tabel 3 s/d 7) tersebut terlihat bahwa semakin besar pH maka kemampuan biofilter bed untuk mengolah gas CO semakin menurun. Hal ini dapat dimaklumi semakin besar pH maka campuran tanahnya semakin banyak. Dengan demikian jumlah zat organik yang terdapat didalam biofilter bed semakin menurun. Demikian juga jumlah bakteri yang berada dalam biofilter bed tersebut. Aktivitas mikroba juga menurun pada pH yang lebih besar (bersifat basa). Pada pH 8,04 biofilter bed dapat mengolah 91,89% dan pada pH 8,33 hanya mampu mengolah 49,87% (pada kecepatan aliran gas yang sama), yaitu 0,2 m<sup>3</sup>/jam atau SV 11,05 / jam. Juga pada kecepatan-kecepatan yang lain menunjukkan kecenderungan yang sama.

Dari grafik juga terlihat (parameter) bahwa semakin tinggi kecepatan aliran gas yang digunakan, maka kemampuan mengolah gas CO dari biofilter bed semakin menurun. Hal ini disebabkan karena contact times antara gas CO dengan biofilter bed semakin kecil. Sehingga kesempatan untuk bereaksi gas CO menjadi CO<sub>2</sub> menjadi terbatas. Dengan demikian maka perbedaan output dan input gas CO semakin kecil.

Sebagai contoh pada kecepatan aliran 0,4 m<sup>3</sup>/jam (SV 22,10 / jam) pada pH 8,04 kemampuan mengolah biofilter bed adalah 91,96% CO dan pada kecepatan 1 m<sup>3</sup>/jam (SV 55,25 / jam) kemampuan mengolah biofilter hanya 85,03% CO.

**b. Pengaruh pH terhadap % pengolahan gas CO pada SV 66,30 s/d 110,5 jam<sup>-1</sup>**

Bilamana dari data penelitian tersebut diatas digambarkan dalam bentuk grafik dalam satu koordinat pH vs % CO terolah adalah sebagai berikut :



Grafik 4.3. : Pengaruh pH terhadap % CO terolah pada SV 66,30 s/d 110,5 jam<sup>-1</sup>  
dari data hasil penelitian

Dari grafik 4.3 (data dari tabel 8 s/d 12) tersebut terlihat bahwa semakin besar pH maka kemampuan biofilter bed untuk mengolah gas CO semakin menurun. Hal ini dapat dimaklumi semakin besar pH maka campuran tanahnya semakin banyak. Pada keadaan bass tersebut aktifitas mikroba menurun. Dengan demikian jumlah zat organik yang terdapat didalam biofilter bed semakin menurun. Demikian juga jumlah bakteri yang berada dalam biofilter bed tersebut. Pada pH 8,04 biofilter bed dapat mengolah 79,83% dan pada pH 8,33 hanya mampu mengolah 35,86% (pada kecepatan aliran gas yang sama), yaitu 1,2 m<sup>3</sup>/jam atau SV 66,30 / jam. Juga pada kecepatan-kecepatan yang lain menunjukkan kecenderungan yang sama.

Dari grafik juga terlihat (parameter) bahwa semakin tinggi kecepatan aliran gas yang digunakan, maka kemampuan mengolah gas CO dari biofilter bed semakin menurun. Hal ini disebabkan karena contact times antara gas CO dengan biofilter bed semakin kecil. Sehingga kesempatan untuk bereaksi gas CO menjadi CO<sub>2</sub> menjadi terbatas. Dengan demikian maka perbedaan output dan input gas CO semakin kecil.

Sebagai contoh pada kecepatan aliran 2 m<sup>3</sup>/jam (SV 110,50 / jam) pada pH 8,04 kemampuan mengolah biofilter bed adalah 65,13% CO dan pada kecepatan 1,2 m<sup>3</sup>/jam (SV 66,30 / jam) kemampuan mengolah biofilter menjadi lebih besar yaitu 79,83% CO.

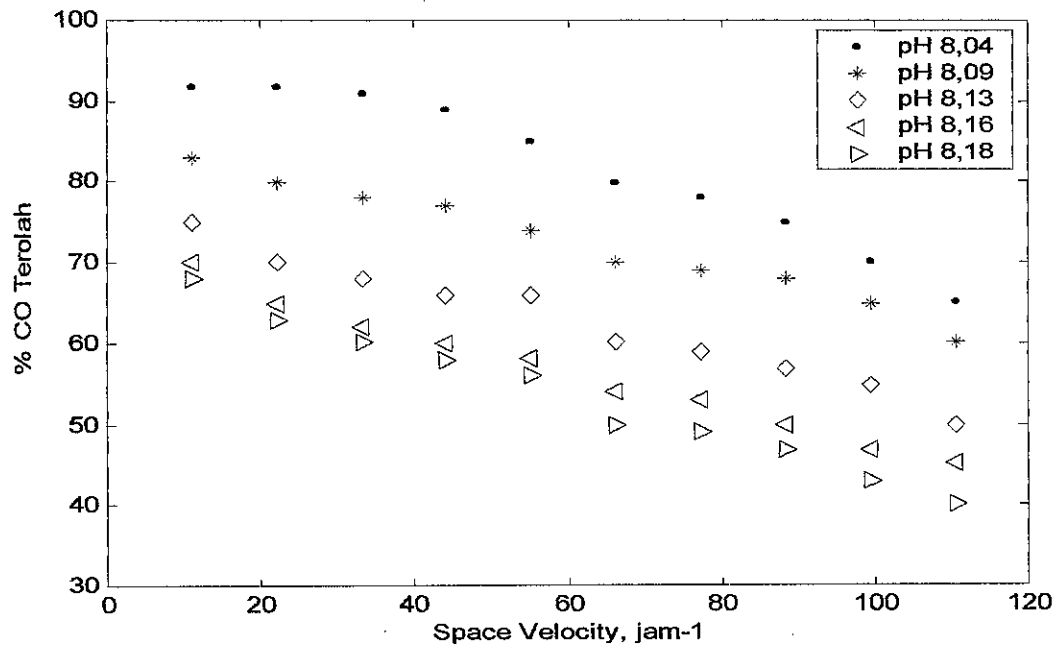
Dalam grafik terlihat juga bahwa pada kecepatan feed gas yang tinggi perbedaan antara kecepatan tersebut terhadap proses pengolahan gas CO pada biofilter bed tidak begitu signifikan. Hal ini ditandai dengan jarak antara garis (parameter) relative berdekatan (berimpit).

Sedangkan pada kecepatan yang rendah perbedaan pengolahan gas CO pada biofilter gas menunjukkan perbedaan yang lebih nyata.

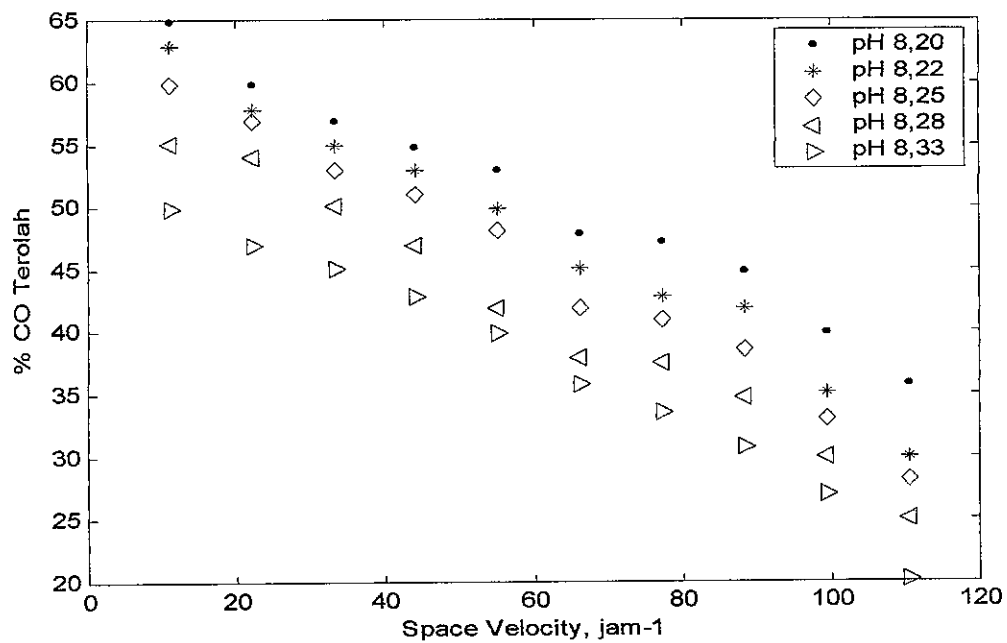
#### **4.5 Pengaruh Space Velocity terhadap % CO terolah pada berbagai pH**

Sumber data untuk membuat grafik didapat dari lampiran tabel 13.





Grafik 4.4. : Pengaruh Space Velocity terhadap %CO terolah pada pH 8,04 s/d 8,18



Grafik 4.5. : Pengaruh Space Velocity terhadap % CO terolah pada pH 8,20 s/d 8,33

Pada grafik 4.4. dan 4.5. terlihat bahwa pada pH yang sama bilamana SVnya semakin besar, artinya waktu kontak antara feed gas dengan biofilter semakin pendek. Sehingga proses pengolahan biofilter pada kandungan gas CO yang terdapat didalam gas buang tidak begitu efektif. Dengan demikian % CO yang terolah semakin kecil. Sedangkan pada SV yang sama semakin kecil pH biofilter atau biofilter semakin bersifat asam maka proses pengolahan CO lebih baik. Hal ini disebabkan karena mikroba akan berperan lebih aktif dalam proses pengolahan gas CO yang terdapat dalam feed gas tersebut. Hal ini terlihat dari jumlah %CO terolah semakin tinggi.

#### 4.6 Model Proses Pada Reaktor Unggun Diam

##### 4.6.1. Model Regresi

###### a. Pengaruh % Kompos Terhadap pH

Data yang diperoleh dari penelitian diolah dengan menggunakan regresi linier diperoleh persamaan sebagai berikut :

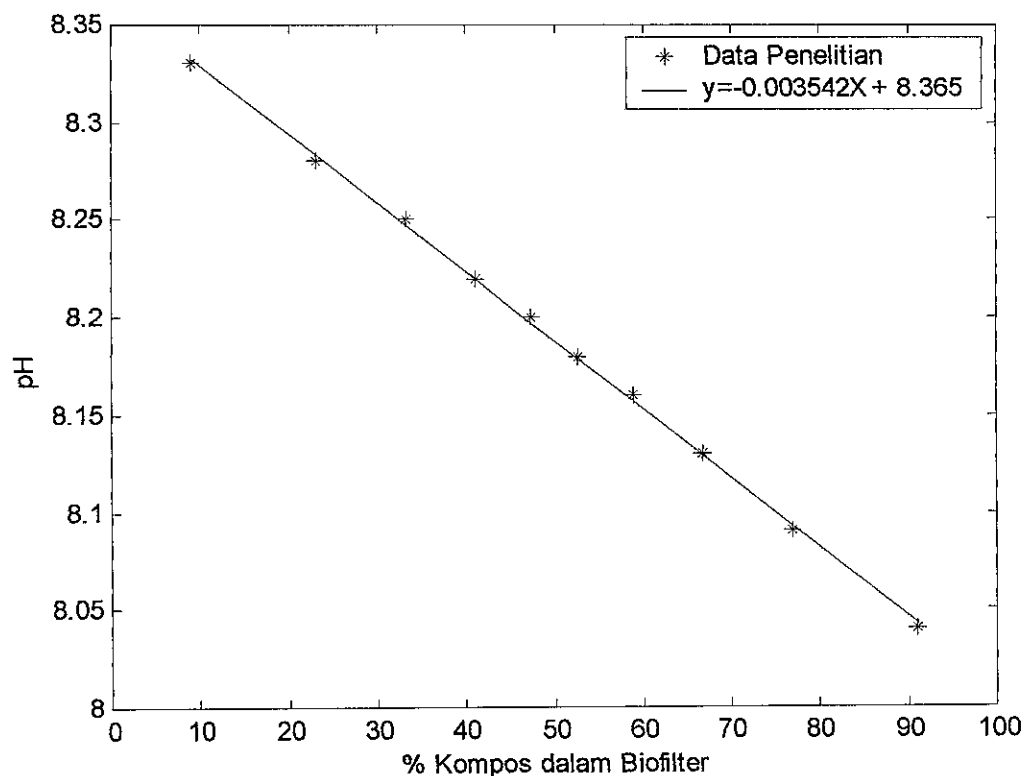
$$Y = -0,003542X + 8,365 \dots\dots\dots ( 4.1. )$$

Dengan .

$$Y = \text{pH}$$

$$X = \% \text{ kompos dalam tanah.}$$

Jika persamaan tersebut dibuat grafik, didapat sebagai berikut :



Grafik 4.6. : Pengaruh % kompos terhadap pH

Data dan perhitungan untuk membuat grafik tersebut tercantum pada lampiran 3, 4 dan 21.

b. Regresi Untuk Variabel Proses

Regresi untuk variable proses pengolahan gas CO dengan biofilter pada matrik Taguchi adalah sebagai berikut :

$$\text{Yield} = a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + a_0 \dots\dots\dots (4.2.)$$

Dengan :

Yield = CO terolah, ppm

$X_1$  = particle size diameter, mm

$X_2$  = moisture content, %

$X_3$  = kecepatan aliran feed gas, m<sup>3</sup>/jam

$X_4$  = perbandingan volume kompos dan tanah

Dari perhitungan regresi didapatkan model sebagai berikut :

$$Y = -6,924X_1 + 0,158X_2 - 59X_3 + 13,25X_4 + 604,004 \dots\dots\dots (4.3.)$$

Data untuk perhitungan persamaan tercantum pada lampiran 1, 2, 3 dan 21.

Dari persamaan tersebut dapat diberikan penjelasan sebagai berikut :

- Rata-rata kandungan CO terolah adalah 660,625 ppm, particle size diameter 1,537 mm, moisture content 66,65%, kecepatan alir feed gas 0,625 m<sup>3</sup>/jam dan perbandingan kompos dan tanah adalah 1,5.
- Korelasi antar variabel, particle size diameter -2,11, moisture content 0,366, kecepatan alir 0,654 dan perbandingan kompos tanah 0,588. Dari data ini terlihat bahwa ada korelasi yang cukup kuat antara kecepatan alir dengan perbandingan tanah dengan kompos. Hal ini ditandai oleh nilai korelasi yang lebih besar daripada 0,5 sedangkan nilai korelasi antara particle size diameter dengan moisture content mempunyai korelasi yang lemah yaitu nilainya lebih kecil daripada 0,5.
- Nilai R square adalah 0,952. Hal ini berarti bahwa 95,2% hasil proses pengolahan gas CO disebabkan oleh pengaruh kecepatan feed gas dan perbandingan kompos dan tanah. Sedangkan 4,8% disebabkan oleh masalah lain.
- Dari uji ANOVA atau F test didapat F hitung mempunyai tingkat signifikansi 0,025. Oleh karena 0,025 lebih kecil dari 0,05 maka model yang diperoleh **dapat** digunakan untuk memprediksi hasil pengolahan gas CO dengan biofilter.
- Berdasarkan probability dapat dilihat bahwa signifikansi untuk kecepatan alir dan perbandingan kompos dan tanah adalah 0,014 dan 0,019 yang terletak jauh dibawah 0,05. Hal ini berarti bahwa koefisien regresi signifikan atau kecepatan alir dan perbandingan kompos tanah

berpengaruh secara signifikan terhadap hasil proses pengolahan gas CO dengan biofilter bed.

- *Eigen value* untuk kecepatan alir dan perbandingan kompos tanah adalah 0,004294 dan 0,0129. Nilai ini mendekati nol, yang berarti terjadi multi kolinieritas antara kedua variable tersebut diatas.

c. Pengaruh pH terhadap %CO terolah pada SV 11,05 s/d 110,50

Regresi untuk SV 11,05 jam<sup>-1</sup> sebagai berikut :

$$C = 1,86 \times 10^9 \text{ EXP } -2,093X \dots\dots\dots (4.4.)$$

Regresi untuk SV 55,25 jam<sup>-1</sup> sebagai berikut :

$$C = 8,34 \times 10^{11} \text{ EXP } -2,859X \dots\dots\dots (4.5.)$$

Regresi untuk SV 110,50 jam<sup>-1</sup> sebagai berikut :

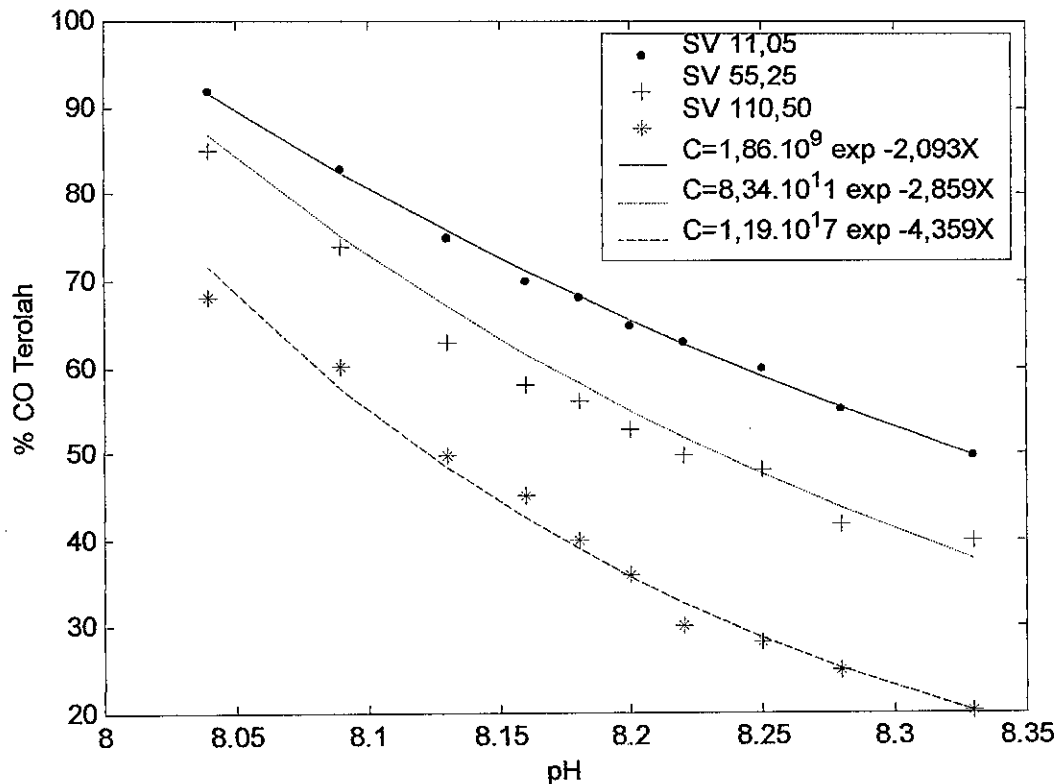
$$C = 1,19 \times 10^{17} \text{ EXP } -4,359X \dots\dots\dots (4.6.)$$

Dengan :

C = CO terolah, %

X = pH

Jika persamaan tersebut digambarkan akan didapat grafik sebagai berikut :



Grafik 4.7. : Pengaruh pH terhadap % CO terolah pada SV bervariasi

Data dan perhitungan untuk membuat grafik tersebut tercantum pada lampiran 5, 6, 7, 8, 9, 21 dan Tabel 13.

- d. Pengaruh Space Velocity 10 s/d 120 terhadap %CO terolah pada pH 8,13 s/d 8,33

Regresi untuk pH 8,13 sebagai berikut :

$$C = 77,7111 \text{ EXP } -0,00369X, \text{ dengan tingkat kesalahan } 2,4\% \dots\dots\dots (4.7.)$$

Regresi untuk pH 8,18 sebagai berikut :

$$C = 71,8801 \text{ EXP } -0,00511X, \text{ dengan tingkat kesalahan } 1,5\% \dots\dots\dots (4.8.)$$

Regresi untuk pH 8,33 sebagai berikut :

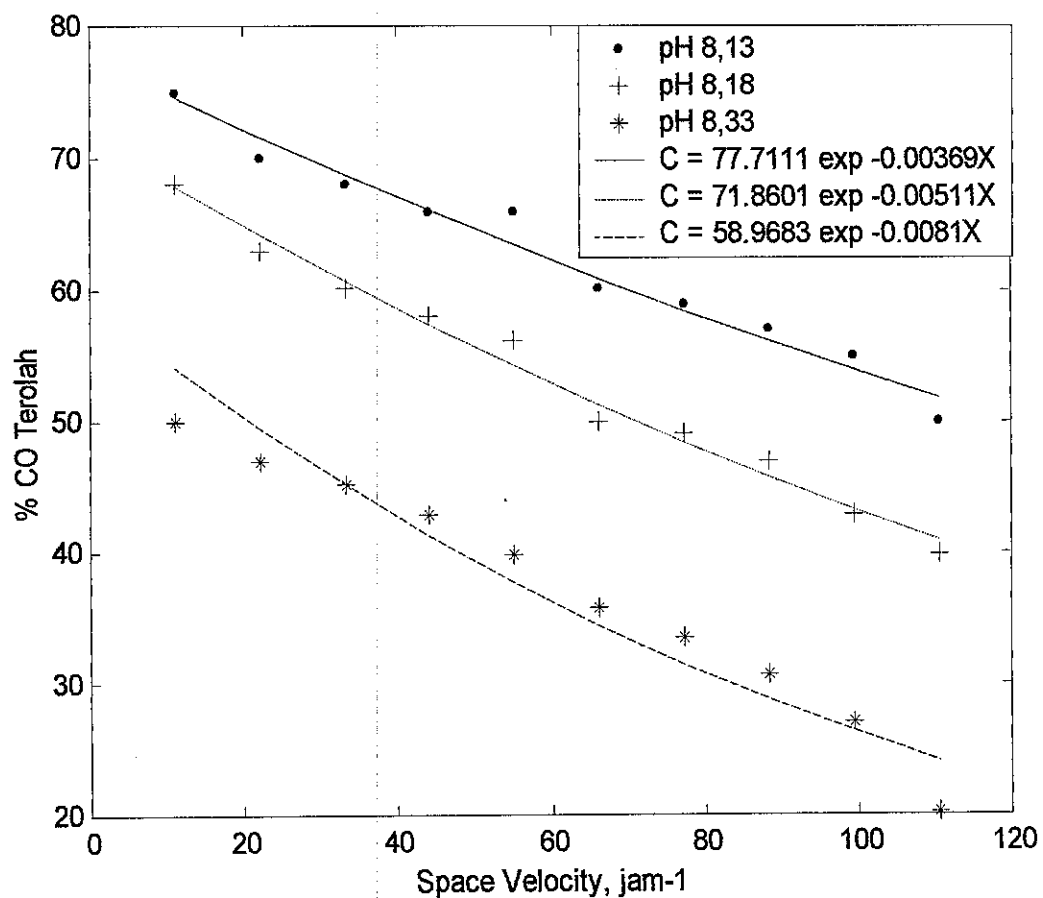
$$C = 58,9683 \text{ EXP } -0,0081X, \text{ dengan tingkat kesalahan } 8,2\% \dots\dots\dots (4.9.)$$

Dengan :

C = % CO terolah

X = Space Velocity

Jika regresi tersebut digambarkan akan didapat grafik sebagai berikut :



Grafik 4.8. : Pengaruh Space Velocity terhadap % CO terolah pada pH bervariasi

Data dan perhitungan untuk membuat grafik tersebut tercantum pada lampiran 9,10, 11, 12, 21, 22 dan Tabel 13.

- e. Pengaruh Space Velocity 10 s/d 60 terhadap %CO terolah pada pH 8,04 s/d 8,33

Regresi untuk pH 8,04 sebagai berikut :

$$C = 110,8303 \text{ EXP } -0,0189X \dots\dots\dots (4.10.)$$

Regresi untuk pH 8,20 sebagai berikut :

$$C = 80,2362 \text{ EXP } -0,0270X \dots\dots\dots (4.11.)$$

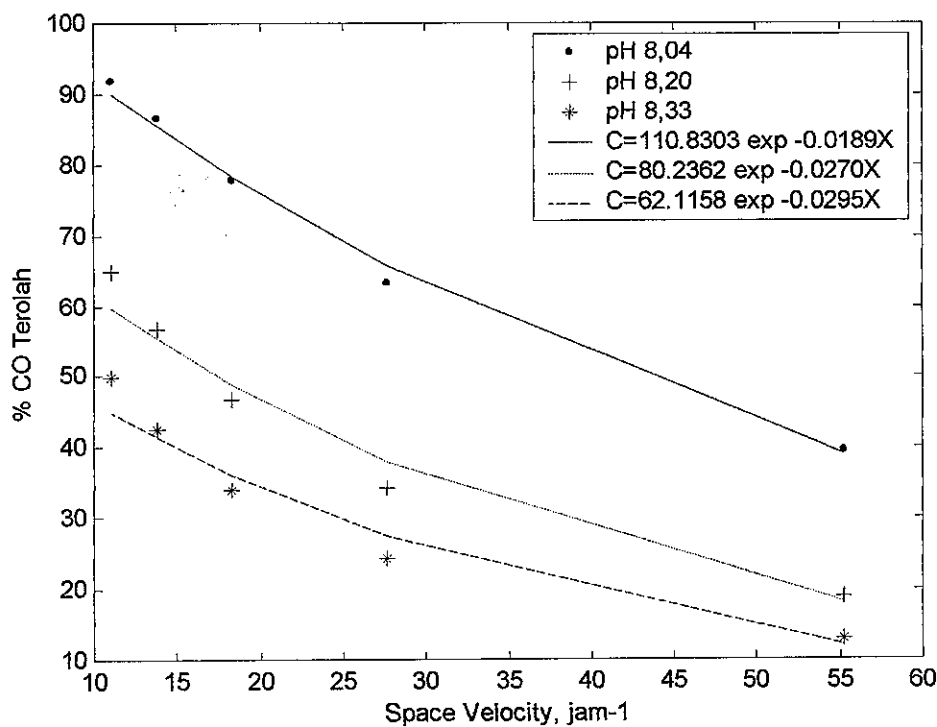
Regresi untuk pH 8,33 sebagai berikut :

$$C = 62,1158 \text{ EXP } -0,0295X \dots\dots\dots (4.12.)$$

Dengan :

C = % CO terolah ; X = Space Velocity

Jika persamaan tersebut digambarkan akan didapat grafik sebagai berikut :



Grafik 4.9. : Pengaruh Space Velocity terhadap % CO terolah pada pH bervariasi

Data dan perhitungan untuk membuat grafik tersebut tercantum pada lampiran 13, 14, 15, 16, 22 dan Tabel 13.



f. Pengaruh jarak terhadap %CO terolah pada pH 8,04 s/d 8,33

Regresi untuk pH 8,04 sebagai berikut :

$$C = 37,9019 \text{ EXP } 0,01327X \dots\dots\dots (4.13.)$$

Regresi untuk pH 8,20 sebagai berikut :

$$C = 16,6598 \text{ EXP } 0,0198X \dots\dots\dots (4.14.)$$

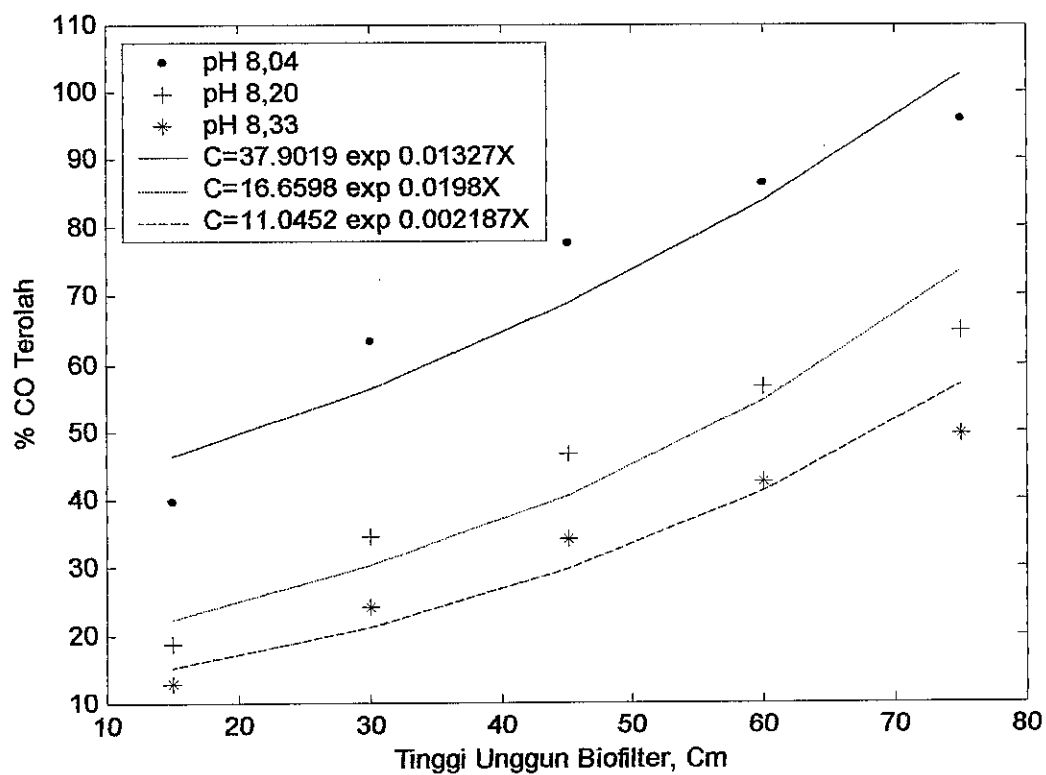
Regresi untuk pH 8,33 sebagai berikut :

$$C = 11,0452 \text{ EXP } 0,02187X \dots\dots\dots (4.15.)$$

Dengan :

C = % CO terolah ; X = jarak, cm

Jika persamaan tersebut digambarkan akan didapat grafik sebagai berikut :



Grafik 4.10. : Pengaruh jarak terhadap % CO terolah pada pH bervariasi

Data dan perhitungan untuk membuat grafik tersebut tercantum pada lampiran 16, 17, 18, 19, 20, 22 dan Tabel 13.

#### 4.6.2. Model Matematis

Model ini memisahkan efek adsorpsi cemaran ( transport ) dan proses biodegradasi. Pada awal operasi biofilter proses adsorpsi biofilter merupakan proses dominan dalam menghilangkan cemaran. Setelah bahan isian biofilter jenuh dengan cemaran proses penghilangan cemaran adalah proses biologi.

##### Transport

Persamaan pokok yang mengatur transport substrat dan  $\text{CO}_2$  adalah dispersi, adveksi dan perpindahan masa fase cairan/padatan. Perubahan konsentrasi dinyatakan dengan persamaan :

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - V \frac{\partial C}{\partial x} - \left( \frac{1-\theta}{\theta} \right) [k (k_h C - C_{ads})] \dots \dots \dots (4.16.)$$

dimana :

$C$  = konsentrasi cemaran pada fase gas,  $\text{mg}/\text{cm}^3$  gas;

$D$  = koefisien dispersi pada fase gas,  $\text{cm}^2/\text{jam}$ ;

$x$  = jarak tempuh pada filter,  $\text{cm}$ ;

$t$  = time, jam;

$V$  = kecepatan aliran gas,  $\text{cm}/\text{jam}$ ;

$C_{ads}$  = konsentrasi pada fase padat/cair,  $\text{mg}/\text{cm}^3$  fase padat/cair;

$\theta$  = porositas material filter;

$k$  = konstanta laju transfer,  $\text{jam}^{-1}$ ;

$k_h$  = harga kesetimbangan untuk rasio konsentrasi pada fase padat/cair dengan fase gas.

##### Biodegradation

Didalam fase padat/cair cemaran akan terakumulasi dan secara bioiogis akan terdegradasi yaitu digunakan sebagai substrat dan dihasilkan  $\text{CO}_2$ . Laju terjadinya proses tsb sebanding dengan konsentrasi cemaran pada fase padat / cair (kinetika order 1)

Laju Biodegradasi =  $-b_1 C_{ads}$

Laju Produksi  $CO_2 = Re (b_1 C_{ads})$

$b_1$  = konstanta laju biodegradasi order 1,  $jam^{-1}$ ;

$Re$  = rasio masa  $CO_2$  diproduksi dengan masa substrat yang didegradasi.

Koncentrasi ( $C_{ads}$ ) pada persamaan laju produksi  $CO_2$  adalah konsentrasi cemaran.

Harga  $Re$  dihitung dari persamaan stoikiometrik mis untuk etanol dan produksi  $CO_2$  adalah 1,91 g  $CO_2/g$   $C_2H_5OH$ .

Perubahan pH yang diakibatkan oleh akumulasi  $CO_2$  ditentukan menggunakan definisi alkalinitas total. Untuk harga pH awal tertentu konsentrasi karbonat total dan kapasitas buffer material biofilter, persamaan alkalinitas diselesaikan dengan trial and error untuk harga  $[H^+]$ :

$$\text{Total Alkalinitas} = C_{T CO_3} (\alpha_1 + \alpha_2) + K_w / [H^+] - [H^+] \dots \dots \dots (4.17)$$

dimana

$$\alpha_1 = [HCO_3^-] / C_{T CO_3}$$

$$\alpha_2 = [CO_3^{2-}] / C_{T CO_3}$$

Transfer dari fase gas ke fase padat/cair diasumsikan order 1

$$k (k_h C - C_{ads}) = \frac{\partial C_{ads}}{\partial t} + b_1 C_{ads} \dots \dots \dots (4.17. a)$$

atau

$$\frac{\partial C_{ads}}{\partial t} = k (k_h C - C_{ads}) - b_1 C_{ads} \dots \dots \dots (4.17. b)$$

atau

$$k_c (k_{hc} [CO_2] - [CO_2]_{ads}) = \frac{\partial [CO_2]_{ads}}{\partial t} - R_c (b_1 C_{ads}) \dots \dots \dots (4.18. a)$$

untuk  $CO_2$

$$\frac{\partial [CO_2]_{ads}}{\partial t} = k_c (k_{hc} [CO_2] - [CO_2]_{ads}) + R_c (b_1 C_{ads}) \dots \dots \dots (4.18. b)$$

Dimana

$[CO_2]_{ads}$  = konsentrasi  $CO_2$  pada fase padat/cair,  $mg/cm^3$  fase padat/cair;

$[CO_2]$  = konsentrasi  $CO_2$  pada fase gas,  $mg/cm^3$  gas;

$kc$  = konstanta laju transfer  $CO_2$ ,  $jam^{-1}$ ;

$khc$  = harga kesetimbangan untuk rasio konsentrasi  $CO_2$  pada fase padat/cair dengan fase gas.

### Persamaan Transient Lengkap

Persamaan untuk transport dan proses biologis yang berlangsung bersamaan merupakan himpunan persamaan yang memberikan gambaran lengkap konsentrasi cemaran dan  $CO_2$  pada fase padat/cair dan fase gas.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - V \frac{\partial C}{\partial x} - \left( \frac{1-\theta}{\theta} \right) [k_h C - C_{ads}] \dots \dots \dots (4.19.a)$$

$$\frac{\partial C_{ads}}{\partial t} = k (k_h C - C_{ads}) - b C_{ads} \dots \dots \dots (4.19.b)$$

$$\frac{\partial [CO_2] C_{ads}}{\partial t} = k_c (k_{hc} [CO_2] - [CO_2]_{ads}) - R_c (b C_{ads}) \dots \dots \dots (4.19.c)$$

### Penyelesaian Persamaan Diferensial

Persamaan diferensial dapat disederhanakan dengan asumsi pada biofilter terjadi kondisi steady-state.

Pada kondisi steady-state (konsentrasi input dan kesetimbangan adsorpsi tetap), penghilangan cemaran terjadi sebagai hasil proses biodegradasi saja.

Dengan menggabungkan persamaan (4.19.a) dan (4.19.b):

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - V \frac{\partial C}{\partial x} - \left( \frac{1-\theta}{\theta} \right) \left( \frac{\partial C_{ads}}{\partial t} + b_1 C_{ads} \right) \dots \dots \dots (4.20)$$

Pada kesetimbangan, konsentrasi pada fase gas dan fase padat/cair sebanding (proporsional):

$$C_{ads} = k_h C \quad (4.21.)$$

dengan demikian

$$\frac{\partial C_{ads}}{\partial t} = k_h \frac{\partial C}{\partial t} \quad (4.22.)$$

dan persamaan (4.20) menjadi:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - V \frac{\partial C}{\partial x} - \left( \frac{1-\theta}{\theta} \right) \left( k_h \frac{\partial C}{\partial t} + b_1 k_h C \right) \quad (4.23)$$

Rasio masa cemaran dalam 2 fase adalah:

$$k_m = \frac{M_{ads}}{M_{gas}} = \frac{C_{ads} (1-\theta)}{C \theta} = k_h \left( \frac{(1-\theta)}{\theta} \right) \quad (4.24.)$$

$M_{ads}$  = masa cemaran pada fase padat/cair, mg;

$M_{gas}$  = masa cemaran pada fase gas, mg. dengan demikian

Dengan demikian

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - V \frac{\partial C}{\partial x} - k_m \frac{\partial C}{\partial t} - b_1 k_m C \quad (4.25.)$$

Persamaan diatas dapat disederhanakan dengan menyatakan rasio antara masa cemaran total pada fase padat/cair dan fase gas dengan masa cemaran pada fase gas sebagai "faktor retardasi" R.

$$R = \frac{M_{gas} + M_{ads}}{M_{gas}} = 1 + k_m \quad (4.26)$$

Dari persamaan (12):

$$(1 + k_m) \frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - V \frac{\partial C}{\partial x} - b_1 k_m C \dots\dots\dots (4.27)$$

substitusikan harga R:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{D}{R} \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - \frac{V}{R} \frac{\partial C}{\partial x} - \frac{b_1 k_m}{R} C \dots\dots\dots (4.28.)$$

**a. Pada Kondisi Steady State dan Dispersi diabaikan**

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{D}{R} \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - \frac{V}{R} \frac{\partial C}{\partial x} - \frac{b_1 k_m}{R} C \text{ menjadi :}$$

$$0 = 0 - \frac{V}{R} \frac{\partial C}{\partial x} - \frac{b_1 k_m}{R} C \rightarrow 0 = - \frac{V}{R} \frac{\partial C}{\partial x} - \frac{b_1 k_m}{R} C \text{ dikalikan dengan R, didapat}$$

:

$$0 = - V \frac{\partial C}{\partial x} - b_1 k_m C$$

$$- \frac{dC}{dx} - \frac{b_1 k_m}{V} C = 0 \rightarrow \frac{dC}{dx} = - \frac{b_1 k_m}{V} C \rightarrow \int \frac{dC}{C} = \int - \frac{b_1 k_m}{V} dx$$

$$\ln C = - \frac{b_1 k_m}{V} X + \ln C_0 \rightarrow C = C_0 \exp - \frac{b_1 k_m}{V} X \dots\dots\dots (4.29.)$$

Dimana :

C = kadar CO keluaran, ppm

C<sub>0</sub> = kadar CO pada feed gas, ppm

X = jarak biofilter bed, cm

$$\frac{b_1 k_m}{V} = \text{konstanta}$$

Dengan menggunakan data pada SV 11,05 jam<sup>-1</sup> pada pH 8,04 , 8,18 dan 8,25 yang tercantum pada tabel 3 maka diperoleh persamaan sebagai berikut :

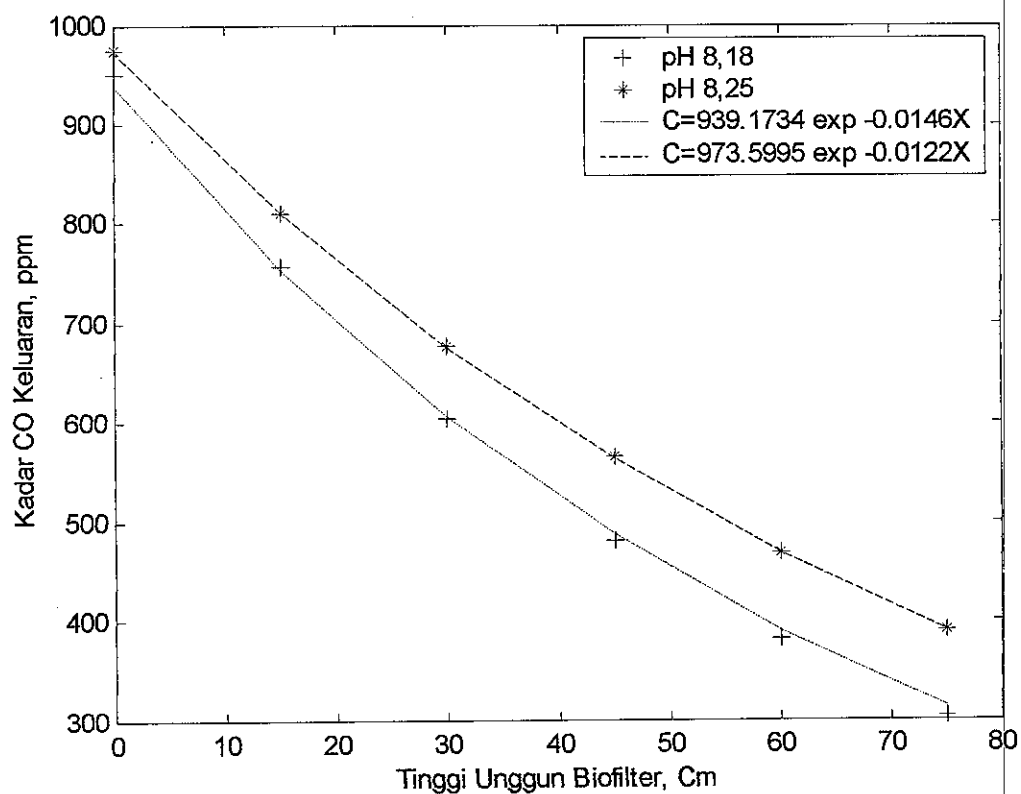
Untuk pH 8,18, persamaan  $C = 939,1734 \text{ EXP } -0,0146X$ .

Dalam hal ini konsentrasi pada feed gas, yakni pada  $x = 0$  adalah 939,1734 ppm. Konstanta = -0,0146

Untuk pH 8,25, persamaan  $C = 973,5995 \text{ EXP } -0,0122X$ .

Dalam hal ini konsentrasi pada feed gas, yakni pada  $x = 0$  adalah 973,5995 ppm. Konstanta = -0,0122.

Bilamana persamaan ketiga model tersebut diatas digambarkan dalam bentuk grafik adalah sebagai berikut :



Grafik 4.11. : Pengaruh Tinggi Unggun Diam Terhadap Kadar CO Keluaran pada SV 11,05 pH Bervariasi

Data untuk pembuatan grafik dan persamaan tercantum pada Tabel 3.

**b. Pada Kondisi Steady State dan Dispersi Tidak Diabaikan**

$$\frac{\partial C}{\partial t} = 0, \quad \text{persamaan menjadi} \quad \frac{D}{R} \frac{d^2 C}{dx^2} - \frac{V}{R} \frac{dC}{dx} - \frac{b_1 k_m}{R} C = 0 \quad \text{atau}$$

$$\frac{d^2 C}{dx^2} - \frac{V}{D} \frac{dC}{dx} - \frac{b_1 k_m}{D} C = 0 \rightarrow \frac{dC}{dx^2} - \frac{V}{D} \frac{dC}{dx} - \frac{b_1 k_m}{D} C = 0 \dots\dots\dots (4.30.)$$

$$\frac{d^2 C}{dx^2} - p \frac{dC}{dx} - q C = 0 \dots\dots\dots (4.31.)$$

$$p = \frac{V}{D} \rightarrow V = \text{kecepatan aliran gas, m/jam}$$

$D$  = Koefisien dispersi pada fase gas,  $\text{cm}^2/\text{jam}$

$$q = \frac{b_1 k_m}{D} \rightarrow b_1 = \text{konstanta laju biodegradasi orde 1, jam}^{-1}.$$

$$k_m = \frac{M_{\text{ads}}}{M_{\text{gas}}}, \quad M_{\text{ads}} = \text{massa cemaran pada fase padat / cair, mg}$$

$M_{\text{gas}}$  = massa cemaran pada fase gas, mg

Persamaan tersebut adalah Ordinary Differential Equation orde 2.

$$\frac{d^2 C}{dx^2} - p \frac{dC}{dx} - q C = 0 \rightarrow \frac{dC}{dx} = r, \quad \text{maka } r^2 - pr - qC = 0$$

$$r_{1,2} = \frac{-(-p) \pm \sqrt{(-p)^2 - 4 \cdot 1 \cdot (-q)}}{2 \cdot 1}$$

$$r_1 = \frac{p + \sqrt{(-p)^2 + 4q}}{2} \rightarrow \text{nyata, positif.}$$

$$r_2 = \frac{p - \sqrt{(-p)^2 + 4q}}{2} \rightarrow \text{nyata, negatif.}$$



### Penyelesaian Umum Persamaan Differensial

$$C = A \cdot e^{r_1 x} + B \cdot e^{r_2 x}$$

Analisis nilai r

$X > \rightarrow C <$ , artinya jika jarak yang ditempuh oleh umpan gas CO semakin besar maka pada kadar CO keluaran akan menjadi makin kecil dalam satuan ppm.

$r_1 > 0$  atau positif  $\rightarrow X > \rightarrow C >$ , hal ini **tidak sesuai** dengan kondisi yang ada.

$r_2 < 0$  atau negatif  $\rightarrow X > \rightarrow C <$ , hal ini **sesuai** dengan kondisi yang ada.

Mendasarkan pada kondisi tersebut maka  $r_2$  digunakan untuk perhitungan lebih lanjut. Persamaan menjadi sebagai berikut :

$$C = B \cdot e^{r_2 x}$$

Menggunakan data proses dari lampiran tabel 3 pada  $V = 0,2 \text{ M}^3/\text{jam} = 8,30 \text{ m/jam}$ , pada pH 8,04 maka diperoleh persamaan eksponensial :

$$C = 984,368 \text{ EXP } -0,0335X$$

Dari persamaan 4.29. didapat  $\frac{b \cdot km}{V} = 0,0335$

untuk  $V = 8,30 \text{ m/jam}$  maka  $b \cdot km = 0,0335 \cdot 8,30 = 0,278$

km dicari dari neraca bahan CO pada kondisi  $V = 8,30 \text{ m/jam}$ , pH = 8,04

CO masuk = 987 ppm

CO keluar = 80 ppm

CO terakumulasi =  $987 - 80 = 907 \text{ ppm}$

Dengan asumsi telah terjadi keseimbangan pada proses pengolahan gas CO pada kondisi tersebut maka didapat :

$M_{\text{gas}} = 80 \text{ ppm}$

$M_{\text{ads}} = 907 \text{ ppm}$

$$\text{Maka } km = \frac{M_{\text{ads}}}{M_{\text{gas}}} = \frac{907}{80} = 11,3375 \rightarrow km = 11,3375$$

$$b_1 (11,3375) = 0,278 \rightarrow b_1 = 2,45 \times 10^{-2}$$

$$p = \frac{V}{D} = \frac{8,30}{D}, q = \frac{b \text{ km}}{D} = \frac{0,278}{D}$$

dari analisis r digunakan  $r_2 \rightarrow r_2 = -0,0335 \rightarrow r_2 = \frac{p - \sqrt{(-p)^2 + 4q}}{2}$  menjadi

$$-0,0335 = \frac{\frac{8,30}{D} - \sqrt{\left(-\frac{8,30}{D}\right)^2 + 4 \cdot \frac{0,278}{D}}}{2} \rightarrow D = 10,4236$$

Maka pada kondisi steady state dan dispersi tidak diabaikan, dengan kondisi operasi kecepatan aliran 8,30 m/jam, pH 8,04 didapat persamaan sebagai berikut :

$$C = 984,368 \text{ EXP } -0,0335X$$

Dengan :

- Konstanta laju biodegradasi orde 1 =  $2,45 \times 10^{-2} \text{ jam}^{-1}$
- Konstanta adsorpsi padat / gas = 11,3375
- Koefisien dispersi pada fase gas 10,4236  $\text{cm}^2/\text{jam}$

Visualisasi perbandingan antara model dengan hasil percobaan dihitung menggunakan distribusi chi kuadrat atau  $\chi^2$ , dengan hipotesa :

$H_0$  : tidak ada beda antara hasil modeling dengan hasil pengukuran

$H_1$  : ada beda antara hasil modeling dengan hasil pengukuran

**Perhitungan  $\chi^2$  :**

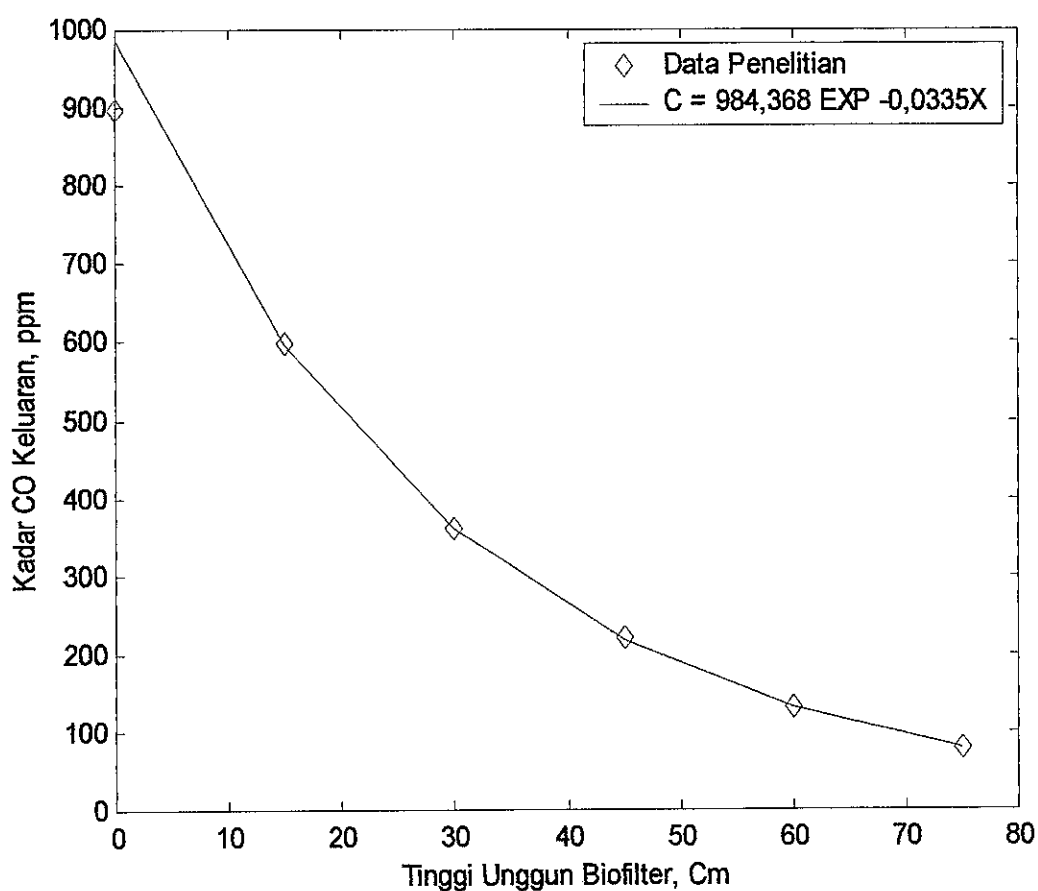
X (cm)	Hasil Modeling (ppm)	Hasil Pengukuran (ppm)	di	di <sup>2</sup>
0	984,368	987	- 2,632	6,9274
15	595,916	597	- 1,084	1,1751
30	360,611	361	- 0,389	0,1513
45	218,219	219	- 0,781	0,6099
60	132,053	132	0,053	0,0028
75	79,918	80	- 0,082	0,0067

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{d_i^2}{\text{hasil modeling}} \text{ maka : } \chi^2 = 0,0124 \rightarrow \chi^2 \text{ hitung} = 0,0,124$$

Dari tabel  $\chi^2$  ( lampiran 26 ) didapat  $\chi^2$  pada 0,995 adalah 0,207.

$\chi^2 \text{ hitung} < \chi^2 \text{ tabel} \rightarrow H_0 \text{ diterima, artinya tidak ada beda antara hasil modeling dengan hasil pengukuran. Tingkat kesalahan adalah } < 0,5\%$

Visualisasi perbandingan antara model dengan hasil percobaan mempunyai kesalahan 0,5% dan dapat digambarkan pada grafik 4.12. berikut :



Grafik 4.11. : Pengaruh Tinggi Unggun Diam Terhadap Kadar CO Keluaran pada kecepatan linier gas masuk 8,3 m/jam pada pH 8,04

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Kemampuan campuran kompos dan tanah untuk mendegradasi gas CO yang terikut pada gas buang adalah sebagai berikut :
  - a. Tanah yang berasal dari areal kilang yang telah disterilkan dapat mengolah / menyerap gas karbon monoksida CO yang terdapat pada gas buang motor diesel meskipun hanya sedikit yaitu 4%.  
Tanah tersebut juga dapat menyerap gas CO<sub>2</sub> sebanyak 2,45%
  - b. Kompos yang mengandung unsur makro N, P, K dan unsur mikro Fe, Zn dan Mg dapat menyerap gas CO yang berasal dari gas buang motor diesel lebih banyak dibanding dengan tanah steril yakni 91,06%.  
Pada kompos gas CO<sub>2</sub> yang melewati bed kompos tersebut tidak dapat diserap. Tetapi jumlah gas CO<sub>2</sub> yang melewatinya akan bertambah sebanyak 0,156% karena ada aktifitas mikroba
  - c. Campuran kompos dan tanah yang digunakan sebagai biofilter bed yang terdiri atas berbagai macam campuran kompos dan tanah, akan mempunyai pH yang berbeda. Semakin banyak kompos dalam campuran maka pH nya semakin kecil. Semakin kecil pH, dengan kecepatan aliran gas atau Space Velocity yang sama, maka % CO yang terolah akan semakin besar.
  - d. Pada Space Velocity yang sama jika pH biofilter bed semakin besar maka % CO terolah semakin kecil.
2. Variabel proses yang dominan dalam proses pengolahan gas CO dengan Biofilter bed ini adalah dengan urutan prioritas kecepatan aliran gas, perbandingan kompos dalam tanah (pH), particle size diameter biofilter bed dan moisture content. Hal ini dapat diketahui dari matrik Taghuchi, yaitu untuk kecepatan aliran mempunyai nilai pada proses pengolahan gas CO sebesar 59,

perbandingan kompos dan tanah 13,25 , particle size diameter biofilter bed 0,158 dan moisture content sebesar -6,93. Sehingga terlihat bahwa yang mempunyai nilai besar adalah variabel yang menentukan dalam proses tersebut.

3. Keterkaitan antar variabel proses biofilter yang terdiri atas campuran kompos dengan tanah dalam mengolah gas CO dapat diketahui dari korelasi antar variabel. Nilai korelasi antar variabel untuk particle size diameter -2,11 ; moisture content 0,366 ; kecepatan alir 0,654 dan perbandingan kompos tanah 0,88. Dari data ini terlihat ada korelasi yang cukup kuat antara kecepatan alir dengan perbandingan tanah dengan kompos. Sedangkan keterkaitan antara particle size diameter dengan moisture content mempunyai korelasi yang lemah yaitu nilainya lebih kecil dari 0,5

4. Modeling proses pada reaktor unggun diam

Model dengan menggunakan regresi linier yang menyatakan hubungan antara yield dengan variabel yang berpengaruh pada proses tersebut dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

- a. Pengaruh % kompos terhadap pH, merupakan persamaan garis lurus dengan slope negatif
- b. Variabel proses yang berpengaruh pada pengolahan gas CO dengan biofilter bed merupakan persamaan regresi berganda dengan 4 variabel.
- c. Pengaruh pH terhadap % CO terolah, pengaruh Space Velocity terhadap % CO terolah, pengaruh jarak terhadap % CO terolah merupakan persamaan eksponensial.
- d. Model pada kondisi steady state dengan dispersi diabaikan merupakan persamaan eksponensial.

Pada kondisi steady state dan persamaan dispersi tidak diabaikan didapatkan *ordinary differential equation* orde 2

## 5.2. Saran

1. Penggunaan biofilter untuk pengolahan gas CO, disarankan dilakukan pada kondisi operasi pH 8,04 s/d 8,09. Pada kondisi ini proses pengolahan CO akan lebih baik.
2. Aliran feed gas kedalam biofilter untuk diolah disarankan dilakukan pada kecepatan aliran gas 0,2 m<sup>3</sup>/jam atau SV 11 jam<sup>-1</sup>. Hal ini dimaksudkan untuk memperoleh waktu yang cukup agar kontak antara CO dengan biofilter bed lebih lama. Sehingga proses adsorpsi dan mikroba dalam proses pengolahan gas CO menjadi lebih efektif.
3. Umur biofilter bed belum diketahui. Disarankan penelitian untuk menentukan jenis mikroba, umur mikroba pada berbagai kondisi operasi biofilter bed dalam proses pengolahan gas CO yang terdapat dalam gas buang.

## RINGKASAN

### 1. PENDAHULUAN

#### 1.1. LATAR BELAKANG

Sumber Gas CO berasal dari alamiah dan emisi. Alamiah, terdapat dalam bituminous coal  $\pm 0,023$ , residual oil 0,001, distillate oil 0,014 dan gas alam 0,004 lb/10<sup>6</sup> Btu bahan bakar. Emisi, hasil pembakaran tidak sempurna.

Kandungan gas CO dalam gas buang motor bakar + 2,9% vol, di Lingkungan Pusdiklat Migas Cepu misalnya berasal dari power plant, flue gas kendaraan operasi, dll. Hasil pengukuran CO pada emisi gas buang motor diesel Power Plant pada tanggal 23 – 12 – 2002, ELE 780 - 990 ppm.

Sifat gas CO adalah tidak berasa, beracun, tidak berwarna, tidak berbau.

BM 28,01 ; SG 0,968 ; larut dalam alkohol, larutan CuCl dan sedikit larut dalam air

Di Indonesia kadar gas CO diatur dengan PP No 41 th 1999. baku mutu udara Ambien Nasional. CO (NDIR Analyzer) adalah : 30.000  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$  (27 ppm). 1 jam dan 10.000  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$  (9 ppm), 24 jam

Efek gas CO terhadap lingkungan adalah berbahaya bagi manusia, kons. 9 ppm, 8 jam atau 30 ppm, 1 jam dapat mengganggu kesehatan dan berakibat fatal. Pada konsentrasi 1300 ppm, 1 jam pusing hebat dan dapat berakibat fatal. Gas CO ini dapat juga mengganggu proses fotosintesis pada tumbuhan berklorofil, sehingga menghambat tingkat kesuburan dari tumbuhan tersebut.

Beberapa cara telah dilakukan untuk mengolah gas CO ini, misalnya dengan proses adsorpsi, absorpsi, dan katalitik konverter. Proses biofilter pernah dilakukan untuk mengolah gas VOC's. Mengingat sifat gas CO maka cukup menarik untuk diteliti cara pengolahan gas CO tersebut dengan biofilter.

## 1.2. PERUMUSAN MASALAH

- a. Belum diketahuinya kemampuan mikroba untuk mendegradasi gas CO pada biofilter, yang terdiri atas campuran kompos dengan tanah.
- b. Belum ada data kuantitatif variabel utama yang berpengaruh pada proses tersebut diatas.
- c. Keterkaitan antar variabel pada proses biofilter untuk mengolah gas CO yang berasal dari gas buang belum diketahui dengan pasti.
- d. Perbandingan antara data penelitian dengan data prediksi (model) untuk proses termaksud belum diketahui dengan jelas.

## 1.3. TUJUAN PENELITIAN

- a. Menentukan kemampuan mikroba dalam biofilter bed untuk mendegradasi gas CO yang terikut dalam gas buang.
- b. Menentukan variabel yang berpengaruh dan menentukan variabel utama pada proses tersebut diatas.
- c. Mengetahui keterkaitan antar variabel proses biofilter yang terdiri atas campuran kompos dan tanah.
- d. Membuat model proses pengolahan gas pada reaktor unggun diam.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

Untuk mengurangi kandungan pencemar gas yaitu  $\text{CO}_x$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , HC dan VOC dapat dilakukan antara lain dengan cara :

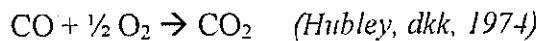
- Adsorpsi dengan Cuprous Amine Complexis dan Cuprous Amonium Chlorida (*Perry, 1950*)
  - Catalytic Converter dengan katalisator platina, Rhodium untuk konversi CO menjadi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$  (*Visilind, 1990*)
  - Cara kimia misalnya insiminator, klorinasi, ionisasi untuk gas HC dan VOC
- Cara diatas perlu peralatan yang rumit, biaya mahal. Jika adsorbent telah jenuh, perlu di treatment dahulu sebelum dibuang



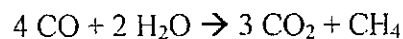
- Biofilter, proses biologis dapat digunakan untuk treatment gas-gas pencemar sebelum dibuang ke udara luar.

Bahan isian biofilter dapat terdiri atas kompos, tanah diatomae, karbon aktif (GAC) maupun bahan berpori lainnya.

- Spesies aerobik seperti Carboxydomonas, Hydrogenomonas, Bacillus dan bakteri pengoksidasi tanah dapat mengoksidasi gas CO menjadi CO<sub>2</sub> :



Beberapa bakteri anaerobik jika ada H<sub>2</sub>O akan mengubah CO menjadi CO<sub>2</sub> (Kluyser dan Scheuilen, 1974)



Laju metabolisme CO di tanah sangat dipengaruhi oleh jenis mikroflora anaerobik dan aerobik. Mikroorganisme tersebut terdapat dalam kompos dan pupuk kandang (Sumarno, 2002)

Effisiensi biofilter untuk pemurnian emisi gas (VOCS) berkisar antara 73 – 95%. Bahkan untuk H<sub>2</sub>S dapat mencapai 100%.

### 3. METODOLOGI PENELITIAN

- a. Gas umpan berasal dari gas buang motor diesel.
- b. Bahan isian Biofilter :

Kompos dicampur dengan tanah dengan berbagai perbandingan.

- c. Rangkaian alat terdiri atas :

- Kompresor berisi sample gas yang telah tercemar ( mengandung CO ).
- Tabung berisi aquadest, untuk melembabkan sample gas.
- Gas flowmeter untuk mengukur aliran volumetric gas ( m<sup>3</sup>/jam ).
- Kolom berisi bahan isian biofilter, inside diameter 20 cm, tinggi 100 cm, terbuat dari bahan transparan ( fiberglass ).
- Pressure Indicator (PI) untuk mengukur tekanan operasi (Psi).

d. Variabel yang dipelajari

- Particle Size Diameter.
- Moisture content.
- Kecepatan aliran gas masuk biofilter ( *influent* ).
- Perbandingan campuran tanah diatomae dan kompos, pH.

Alat ukur kandungan CO, Toxic gas detector ELE, dengan range pengukuran 0 – 1000 ppm.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bahan baku gas, diambil dari gas buang motor diesel Power Plant yang mempunyai kandungan CO 780 – 996 ppm, SO<sub>2</sub> 1792 – 2340 ppm, NO<sub>2</sub> 3 – 6 ppm, dan CO<sub>2</sub> 2800 – 4200 ppm.

Kompos yang digunakan didapat dari PD Sumber Wijaya dengan Merk dagang nomor 459781, kompos tersebut mempunyai particle size diameter lolos ayakan nomor 8 dan tertahan pada ayakan nomor 12 atau 1,88 mm dan lolos ayakan nomor 12 dan tertahan pada ayakan nomor 16 atau 1,194 mm ; pH kompos 8,01.

Tanah yang digunakan diambil dari  $\pm$  100 meter dari kilang minyak Pusdiklat Migas Cepu, mempunyai particle size diameter 1,88 mm dan 1,194 mm ; pH tanah 8,36

Pengaruh % kompos dalam tanah terhadap pH dari data penelitian bersifat linier. Semakin banyak kompos dalam campuran maka pH menurun. pH campuran berkisar antara 8,01 s/d 8,36.

Blank sample digunakan untuk menghitung material balance pada proses fisika dan biokimia. Pada proses fisika, menggunakan tanah steril. Pada proses ini diperoleh data bahwa tanah steril tersebut dapat menyerap CO 35 ppm atau 4% dan menyerap CO<sub>2</sub> 48 mg/l atau 2,45%. Pada proses

mikrobiologi, menggunakan kompos saja. Pada proses ini dapat terserap CO 815 ppm atau 91,96% dan CO<sub>2</sub> bertambah 3 mg/l atau 0,156%

Matrik Taguchi dan tabel efek, untuk mencari urutan prioritas variabel.

Dari tabel Matrik Taguchi didapatkan variabel kecepatan aliran dengan nilai + 14,75 ; perbandingan kompos dan tanah + 13,25 ; moisture content + 5,75 dan particle size diameter + 0,75.

Pengaruh pH terhadap %CO terolah pada berbagai SV, pada pH yang rendah dan pada SV yang sama maka jumlah % CO terolah menjadi semakin besar. Pada pH 8,04 dan SV 11,05 jam<sup>-1</sup> maka jumlah % CO terolah paling tinggi yaitu 91,8%. Pada pH 8,33 SV 110,50 jam<sup>-1</sup> %CO terolah paling rendah yaitu hanya 20,15%.

Pengaruh space velocity terhadap %CO terolah pada berbagai pH, pada space velocity yang rendah dengan pH yang sama maka jumlah % CO terolah adalah semakin besar. Demikian pula sebaliknya.

## 5. MODELING

### 1.1 Model Regresi

Pengaruh % Kompos terhadap pH

$$Y = -0,003542X + 8,365$$

Dengan Y = pH campuran kompos dengan tanah

X = % kompos dalam campuran

Taguchi

$$Y = -6,924X_1 + 0,158X_2 - 59X_3 + 13,25X_4 + 604,004$$

Dengan X<sub>1</sub> = particle size diameter, mm

X<sub>2</sub> = % moisture content biofilter bed

X<sub>3</sub> = kecepatan aliran gas, m<sup>3</sup>/jam

X<sub>4</sub> = perbandingan kompos dengan tanah

- Korelasi antar variabel particle size diameter -2,11 ; moisture content 0,366 ; kecepatan alir 0,654 dan perbandingan kompos dan tanah 0,588. Nilai korelasi  $>0,5$  korelasi kuat.
- $R_{sq} = 0,952 \rightarrow 95,2\%$  %CO terolah disebabkan karena pengaruh kecepatan feed gas dan perbandingan kompos dan tanah.
- Dari uji ANOVA atau F test mempunyai nilai signifikansi  $0,025 < 0,05$  berarti model sesuai.

Pengaruh pH terhadap %CO terolah pada SV  $11,05 \text{ jam}^{-1}$

$$C = 1,86 \times 10^9 \text{ EXP } -2,093X, \text{ dengan tingkat kesalahan } 0,2\%$$

Dengan  $C = \% \text{ CO terolah dalam biofilter bed}$   
 $X = \text{pH biofilter bed}$

Pengaruh SV terhadap % CO terolah pada pH 8,33

$$C = 58,9683 \text{ EXP } -0,0081X, \text{ dengan tingkat kesalahan } 8,2\%$$

Dengan  $C = \% \text{ CO terolah dalam biofilter bed}$   
 $X = \text{Space Velocity, } \text{jam}^{-1}$

Pengaruh tinggi unggun terhadap %CO terolah pada pH 8,20

$$C = 16,6598 \text{ EXP } -0,0198X, \text{ dengan tingkat kesalahan } 2,5\%$$

Dengan  $C = \% \text{ CO terolah dalam biofilter bed}$   
 $X = \text{tinggi unggun, cm}$

## 1.2. Model Matematis Pada Reaktor Unggun Diam

Model matematis secara umum adalah

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{D}{R} \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - \frac{V}{R} \frac{\partial C}{\partial x} - \frac{b_t k_m}{R} C$$

Pada kondisi steady state dispersi diabaikan.

$$0 = -V \frac{\partial C}{\partial x} - b_1 k_m C$$

Pada pH 8,25 didapat persamaan sebagai berikut :

$$C = 973,5995 \text{ EXP } -0,0122X, \text{ dengan tingkat kesalahan } 0,5\%$$

Dengan  $C = \% \text{ CO}$  terolah dalam biofilter bed

$X = \text{tinggi unggun, cm}$

Pada kondisi steady state dispersi tidak diabaikan.

$$\frac{dC}{dx} - \frac{V}{D} \frac{dC}{dx} - \frac{b_1 k_m}{D} C = 0 \rightarrow \frac{d^2 C}{dx^2} - p \frac{dC}{dx} - q C = 0$$

$D = \text{Koefisien dispersi pada fase gas, cm}^2/\text{jam}$

$$q = \frac{b_1 k_m}{D} \rightarrow b_1 = \text{konstanta laju biodegradasi orde 1, jam}^{-1}.$$

$$k_m = \frac{M_{\text{ads}}}{M_{\text{gas}}}, \text{ } M_{\text{ads}} = \text{massa cemaran pada fase padat / cair, mg}$$

$M_{\text{gas}} = \text{massa cemaran pada fase gas, mg}$

Penyelesaian Umum Persamaan Differensial

$$C = A \cdot e^{r_1 x} + B \cdot e^{r_2 x}$$

Digunakan  $r_2 < 0$  maka  $C = B \cdot e^{r_2 x}$

Pada  $V = 0,2 \text{ m}^3/\text{jam}$  atau  $8,30 \text{ m}/\text{jam}$ , dan pada pH 8,04 diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$\dot{C} = 984,368 \text{ EXP } -0,0335X, \text{ dengan tingkat kesalahan } 0,5\%$$

Dari sini didapatkan  $b_1 k_m/V = 0,0335$

Konstanta laju biodegradasi orde 1 atau  $b_1 = 2,45 \times 10^{-2} \text{ jam}^{-1}$ .

Konstanta adsorpsi padat gas = 11,3375

Koefisien dispersi pada fase gas =  $10,4236 \text{ cm}^2/\text{jam}$ .

## 6. KESIMPULAN DAN SARAN

### 6.1. Kesimpulan

#### a. Kemampuan mikroba

- Tanah dapat menyerap CO 4% ; kompos 91,06%.
- Pada biofilter bed yang mempunyai pH semakin rendah, dengan kecepatan aliran gas umpan yang sama maka kemampuan mikroba untuk mengolah gas CO menjadi semakin besar.
- Pada kecepatan aliran gas umpan yang semakin besar, pada kondisi biofilter bed yang mempunyai pH sama maka kemampuan mikroba untuk mengolah gas CO menjadi semakin kecil.

#### b. Variabel proses

Urutan variabel proses yang berpengaruh adalah kecepatan aliran gas, pH, particle size diameter dan moisture content.

#### c. Keterkaitan antar variabel

- Kecepatan aliran dan pH mempunyai keterkaitan yang besar.
- Particle size diameter dan moisture content adalah kecil.

#### d. Modeling proses pada reaktor unggun diam

- Pengaruh % kompos terhadap pH adalah garis lurus.
- Variabel proses yang berpengaruh pada biofilter bed adalah regresi berganda dengan 4 variabel.
- Model pengaruh pH terhadap %CO terolah, SV terhadap % CO terolah, tinggi unggun biofilter terhadap % CO terolah merupakan persamaan eksponensial.

- Model pada kondisi steady state dengan dispersi diabaikan merupakan persamaan eksponensial. Kondisi steady state dengan dispersi tidak diabaikan merupakan ODE orde 2.

Dengan menganggap pada proses adsorpsi terjadi keseimbangan maka  $b_1$ ,  $k_m$  dan  $D$  dapat dihitung dan dibandingkan dengan hasil percobaan dengan pengolahan dengan kesalahan 0,31%.

## 6.2. Saran

- a. Penggunaan biofilter untuk mengolah gas CO yang terdapat dalam gas buang disarankan pada pH 8,04 s/d 8,09.
- b. Aliran gas umpan pada kecepatan  $0,2 \text{ m}^3/\text{jam}$  atau  $SV \text{ } 11 \text{ jam}^{-1}$ .
- c. Umur biofilter bed belum diketahui. Disarankan penelitian untuk menentukan jenis mikroba, umur mikroba pada berbagai kondisi operasi biofilter bed dalam proses pengolahan gas CO yang terdapat dalam gas buang.

## VI. DAFTAR PUSTAKA

1. Badger Walter L. and Banchero Julius T., "Introduction to Chemical Engineering", Kogakusha Co., LTD., Tokyo, 1955.
2. Botkin B. Daniel, "Environmental Studies", Charles E. Merrill Publishing Company, Colombus, 1982.
3. Brown GG., "Unit Operations", Modern Asia Ed., John Willy & Sons, Inc., New York, 1950.
4. Campbell John M., "Gas Conditioning And Processing", Vol 2, 6<sup>th</sup> Ed., Campbell Petroleum Series, Oklahoma, 1984.
5. Dwi Handayani, "Proses Adsorpsi", Undip Semarang, 2002.
6. Hanselman Duane and Bruce Littlefield, diterjemahkan Jozep Adianto, "Matlab Bahasa Komputer Teknis", Penerbit Andi Yogyakarta, Yogyakarta, 2002.
7. Hubley, J.H, JR Milton and JF Wilkinson, "Arch. Microbiology, 95 : 365 – 368, 1974.
8. Hodge Douglas S. and Devinny Joseph S., "Modelling Removal of Air Contaminants by Biofiltration", University of Southern California, Los Angeles, 1982.
9. Jauhari A., "Patra Edisi XXVI", Jakarta, April 2001.
10. Katz Donald L., "Handbook of Natural Gas Engineering", Mc. Graw Hill Book Company, New York, 1959.
11. Kluyer, A.J and C.G.T.P. Schullen, "Arch. Biochemical, 14 : 57 – 70, 1947.
12. Levin Morris A. and Geald Michael A., "Biotreatment of Industrial and Hazzardous Waste", Mc. Graw Hill Book Company, New York, 1993.
13. Lewis Warren K., "Industrial Stoichiometri", Mc. Graw Hill Book Company, New York, 1960.
14. Little Donald M., "Catalytic Reforming", Penwell Publishing Company, Tusa, 1985.



15. Lund Herbert F., "Industrial Pollution Control Hand Book", Mc. Graw Hill Book Company, New York, 1971.
16. Luyben William L., "Proses Modelling, Simulation and Control for Chemical Engineers", 2<sup>nd</sup> Ed., Mc. Graw Hill Pub. Company, New York, 1990.
17. Miller J.C. and Miller J.N., "Statistic for Analytical Chemistry", John Wiley and Sons, New York, 1987.
18. Miller Tyler G. JR., "Living In The Environment", Wads Worth Publishing Company, Belmont, 1982.
19. Murphy George M., "Ordinary Diffential Equation and Their Solution", D. Van Nostrand. Company Inc., Toronto, 1960.
20. Paul L. Magill, "Air Pollution Hand Book", Mc. Graw Hill Book Company, New York, 1956.
21. Perry John H., "Chemical Engineering Hand Book", 3<sup>th</sup> Ed., Mc. Graw Hill Book Company, New York, 1950.
22. Salvato Joseph A. PE., DEE., "Environmental Engineering And Sanitation", 4<sup>th</sup> Ed., John Willy & Sons., Inc., New York, 1992.
23. Singgih Santoso, "SPSS Versi 10 Mengolah Data Statistik Secara Profesional", PT Alex Media, Jakarta, 2001.
24. Sumarno, dkk., "Faktor Dominan Yang Menentukan Laju Pengambilan Gas CO di atmosfer oleh tanah", Undip, Semarang, 1999.
25. Sumarno, "Metodologi Penelitian", Undip, Semarang, 2002.
26. Sumarno, "Penghilangan Cemaran CO Menggunakan Unggun Tetap Tanah", Reaktor Vol. 5, No 1, Juni, 2001.
27. Tine G., "Gas Sampling and Chemical Analysis in Combustin Engine", Bargamon Press, Oxpord, 1961.
28. Thomann Robert V., "Principles of Surface Water Quality Modelling and Control", Harper and Row, Publishers, New York, 1987.
29. Vesilind P. Arne, Pierce J. Jeffrey, Weiner Ruth F., Environment Pollution and Control, 3<sup>rd</sup> Ed., Butterworth, Buston, 1990.

30. Wilde G.A., Voigt Gk and Iyer IG., "Soil and Plant Analysis for Tree Culture", 4<sup>th</sup> Ed., Oxford and IBH Publishing Co., New Delhi, 1972.
31. Zeikus J.G., "Metabolism of One Carbon Compounds by Chemotrophic Anaerob", Adv. Microbiology Physical 25 : 215 – 295, 1983.